



Titulació:

Màster universitari en Enginyeria de Sistemes Automàtics i Electrònica Industrial

Alumne

Víctor Vadillo Rusiñol

Enunciat TFM:

Estudi del procés de modelatge en BIM de les instal·lacions de l'edifici TR5 del Campus de Terrassa.

Directora del TFM:

Nuria Forcada Matheu

Colaborador del TFM:

Seyed Hamidreza Alavi

Convocatòria de lliurament del TFM:

Setembre 2019

Agradecimientos

A vosaltres, per estar sempre al meu costat.

Resumen

El uso del BIM para el sistema de ventilación y climatización, es absolutamente crucial acceder a información apropiada y confiable para operar y mantener los equipos y sistemas de manera eficiente en los edificios.

El presente informe trata sobre el modelado BIM de la instalación de ventilación y climatización del edificio TR5. Para ello, se usará el programa Revit con el apoyo de planos As-built en AutoCAD y la información recopilada del servicio de mantenimiento del campus. Se realiza una introducción a los conceptos básicos del modelaje para posteriormente aplicarlos en el modelo virtual de la universidad.

La información es recopilada a través del Servicio de obras y mantenimiento del Campus de Terrassa y distintos trabajos finales de grado de distintos compañeros. Para conocer la información necesaria (parámetros) de los elementos que completan la instalación de climatización, se asiste al estudio realizado por Alavi y Forcada (2019). Una vez los parámetros de los elementos estén incorporados en el modelo, se realiza una discusión para verificar el nivel de detalle existente entre el modelo virtual y la situación actual de la universidad.

Según los resultados obtenidos, al tratarse de un edificio bastante antiguo y existente, se comprueba que el ratio obtenido para todos los elementos no es suficientemente elevado para un mantenimiento detallado del edificio donde se debería hacer especial hincapié en actualizar las distintas fuentes de información y, a su vez, completarlas, acentuando en los elementos más trascendentes.

Con el estudio realizado y la comprobación de la cantidad de información que se posee en la actualidad, se puede concluir que si se quiere manejar un modelo virtual para un correcto mantenimiento del edificio es necesario que la cantidad y calidad de información de los equipos y elementos instalados sea más elevado, de tal manera sea posible evitar posibles fallos y mejora el confort de los usuarios.

Summary

In order to use BIM for HVAC systems, it is absolutely crucial to access appropriate and reliable information to operate and maintain equipment and systems efficiently in the buildings.

This report deals with the BIM modelling of the HVAC system of TR5 building. For that, Revit program will be used with the support of As-built plans in AutoCAD and all the information collected from Facility Management Service. An introduction to the basic concepts of modelling is made to apply them in the virtual model of the university.

The information is collected through Facility Management Service of Campus of Terrassa and different final degree projects of different partners. To know the necessary information (parameters) of the elements that complete the HVAC system, we attend the study carried out by Alavi and Forcada (2019). Once the parameters of the elements are incorporated into the model, a discussion is carried out to verify the level of detail between the virtual model and the current situation of the university.

According to the results obtained, since it is a fairly old and existing building, it is verified that the ratio obtained for all the elements is not high enough for a detailed maintenance of the building where special emphasis should be placed on updating the different sources of information and, in turn, complete them, emphasizing the most transcendent elements.

With the study carried out and the verification of the amount of information that is currently available, it can be concluded that if you want to manage a virtual model for a correct maintenance of the building it is necessary that the quantity and quality of information of the equipment and elements installed should be higher, in such a way it is possible to avoid possible failures and improve the comfort of the users.

Abreviació	Definició
AIA	American Institute of Architects
BEP	<i>BIM Execution Plan</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
COBie	<i>Construction Operations Building information exchange</i>
FM	<i>Facility Management</i>
HVAC	<i>heating, ventilation and air conditioning</i>
IRT	<i>Infrared Thermography</i>
O&M	<i>Operation and Maintenance</i>
LOD	<i>Level of detail</i>
LOI	<i>Level of information</i>
MEP	<i>Mechanical, electrical, and plumbing</i>
NISTIR	<i>National Institute of Standards and Technology Interagency/Internal Report</i>

Tabla 1. Tabla de abreviaciones

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Evolución simbólica de BIM (BibLus 2017).....	11
Figura 2. Trabajo conjunto entre disciplinas (BibLus 2017)	12
Figura 3. Esquema de fases (NISTIR 1999)	13
Figura 4. Proceso creación de la matriz (ver 5 Requerimientos LOD de instalaciones).....	14
Figura 5. Diferencia entre LOD 300 (izda) y LOD 350 (dcha) (Madrid s.f.)	16
Figura 6. Ubicación TR5 campus Terrassa.....	21
Figura 7. Edificios campus Terrassa	21
Figura 8. Planta inferior	22
Figura 9. Fachada TR5 campus Terrassa.....	23
Figura 10. Edificio TR5. Arriba: modelo. Abajo: imagen satélite (Moral 2018)	25
Figura 11. Rejilla retorno en falso techo (ubicada en el aula 3.6 de la tercera planta).....	26
Figura 12. Rejilla retorno en pared (ubicada en el aula PC7 de la tercera planta)	26
Figura 13. Ejemplo información de tuberías (Ribé 2006)	26
Figura 14. Ejemplo: Nombre de tuberías y equipos de climatización relacionadas con Figura 13 (Ribé 2006)	27
Figura 15. Información del sistema ventilación y climatización de la tercera planta (anexo I.I)	28
Figura 16. Zona ampliada del sistema ventilación y climatización de la tercera planta	29
Figura 17. Conexiones de equipos (Ribé 2006).....	29
Figura 18. Ubicación de los equipos exteriores de climatización	30
Figura 19. Enfriadora en azotea.....	33
Figura 20. Unidad tratamiento de aire.....	33
Figura 21. Circuito intercambiador de temperatura.....	33
Figura 22. Equipos exteriores de climatización.....	34
Figura 23. Etiqueta del equipo para uso interno	34
Figura 24. Calderas TR5	35
Figura 25. Parte inferior del pasillo central de la universidad (sótano)	35
Figura 26. Equipos climatización terraza planta 3	36
Figura 27. Placa característica equipo TR-CLISE0105	36
Figura 28. Placa ilegible equipo TR-CLISE0108.....	36
Figura 29. Parámetros introducidos en Revit para los difusores de aire según la Tabla 8.	41
Figura 30. Equipos interiores. Arriba: tipo cassette. Abajo: tipo split.....	44
Figura 31. Equipos exteriores	44
Figura 32. Detalle conducto principal (modelo Revit)	45
Figura 33. Tramo equivalente a la Figura 32 teniendo en cuenta el plano (Ribé 2006).....	45
Figura 34. Detalle para personalizar el tamaño de los conductos	45
Figura 35. Detalle tuberías principales (modelo Revit)	46
Figura 36. Detalle para personalizar el tamaño de las tuberías	46

Figura 37. Equipo TR-CLISE0102 (Vista Revit)	46
Figura 38. Equipo TR-CLISE0102 (Vista planos As-built)	47
Figura 39. Equipo TR-CLISE0102.....	47
Figura 40. Sistema ventilación y climatización planta sótano. Izda: Modelo Revit. Dcha: Planos As-built	48
Figura 41. Perfil falso techo.....	48
Figura 42. Modelado climatización planta principal (parte este de la universidad).	49
Figura 43. Comparación de información entre proyectos:	50
Figura 44 Aire acondicionado tipo ventana. Fuente: Google	50
Figura 45. Modelado climatización planta principal (parte derecha de la universidad) Arriba: Modelo Revit. Abajo: Planos As-built	51
Figura 46. Ubicación equipo exterior de las unidades interiores del servicio de reprografía	52
Figura 47. Modelado climatización primera planta (parte izquierda de la universidad).....	52
Figura 48. Rejillas de ventilación de la primera planta.....	53
Figura 49. Renovación climatización de la planta 1 (anejo I.III)	54
Figura 50. Explicación esquemática de la instalación.....	55
Figura 51. Izda: planta según plano. Dcha: modelo Revit	55
Figura 52. Sistema de climatización de secretaría académica	56
Figura 53. Montante de la segunda planta a la tercera planta.....	56
Figura 54. Circuito refrigerante R-410A Arriba: planta 1. Central: planta 2. Abajo: planta 3	57
Figura 55. Modelado climatización primera planta (parte central de la universidad) Arriba: Modelo Revit. Abajo: Planos As-built	58
Figura 56. Modelado climatización segunda planta (parte izquierda de la universidad). Izda: Modelo Revit. Dcha: Planos As-built.....	59
Figura 57. Modelado climatización segunda planta (parte izquierda de la universidad). (Anejo I.II)	59
Figura 58. Seminario 3 Arriba; Izda: planos As-built. Dcha: planos proyecto 2005. Abajo: Izda: fotografía. Dcha: modelo Revit.....	60
Figura 59. Modelado climatización segunda planta (parte central de la universidad) Arriba: Modelo Revit. Abajo: Planos As-built.....	61
Figura 60. Modelado climatización segunda planta (parte derecha de la universidad). Izda: Modelo Revit. Dcha: Planos As-built.....	62
Figura 61. Tuberías verticales y ramales	62
Figura 62. Equipos exteriores de la Figura 60. Izda: Vista 3D. Dcha: detalle tuberías (alzado)	63
Figura 63. Conexión vertical equipo interior – exterior (vista planta).....	63
Figura 64. Conexión unidad interior – exterior. Izda: Vista arquitectura. Dcha: Vista mecánica....	64
Figura 65. Equipos exteriores terraza ubicada en la tercera planta	64
Figura 66. Ubicación equipos TR-CLISE0322, TR-CLISE0113, TR-CLISE0110 y TR-CLISE011165	
Figura 67. Ubicación equipos TR-CLISE0110, TR-CLISE0108, TR-CLISE0111 y TR-CLISE010965	
Figura 68. Ubicación equipos TR-CLISE0107, TR-CLISE0106, TR-CLISE0104, TR-CLISE0105 y TR-CLISE0321	65

Figura 69. Equipos climatización exteriores. Izda: Modelo Revit. Dcha: Planos As-built	66
Figura 70. Conexión máquinas TR-CLISE0104 y TR-CLISE0105 con tercera planta	67
Figura 71. Conexión máquinas TR-CLISE0104 y TR-CLISE0105 con todos los equipos interiores	68
Figura 72. Conexión entre TR-CLISE0112 y TR-CLISI0250 Izda: Vista arquitectura. Dcha: Vista mecánica	69
Figura 73. Conexión entre TR-CLISE0103 y TR-CLISI0223 Izda: Vista arquitectura. Dcha: Vista mecánica	69
Figura 74. Equipos exteriores parte oeste de la universidad (azotea).....	70
Figura 75. Equipos exteriores parte oeste de la universidad. Izda: Vista real. Dcha: Modelo Revit	70
Figura 76. Sistema de climatización de la tercera planta. Arriba: plano (Ribé 2006). Abajo: modelo Revit	71
Figura 77. Vista 3D de la tercera planta.....	72
Figura 78. Válvula TBV-C 20 Izda: Modelo Revit. Dcha: Imagen real	72
Figura 79. Antiguo laboratorio textil y papelería.....	73
Figura 80. Distribución actual del espacio. Izda: Aula 3.5 (Ribé 2006).Dcha: Aulas 3.1 y 3.2 (planos As-built).....	73
Figura 81. Izda: solución aula 3.5 (Ribé 2006). Dcha: Solución adoptada aulas 3.1 y 3.2	73
Figura 82. Despacho 310. Izda: Fotografía. Dcha: plano As-built	74
Figura 83. Despacho 310 (Vista Revit)	74
Figura 84. Elemento de climatización FCH-20. Izda: Modelo Revit. Dcha: Imagen real (Megatherm 2019)	75
Figura 85. Elemento de climatización YCSA-150-TP. Izda: Modelo Revit. Dcha: Imagen real. Centro: Fotografía	75
Figura 86. Elemento de climatización CTA-10 Izda: Modelo Revit. Dcha: Fotografía.....	76
Figura 87. Distribución de fachadas (Poyato 2014)	76
Figura 88. Fachada F6 (Poyato 2014) Arriba: plano As-built. Abajo: Modelo Revit	77
Figura 89. Fachada F2 (Poyato 2014) Arriba: plano As-built. Abajo: Modelo Revit	78
Figura 90. Zona ampliada de la Figura 89 (Poyato 2014).....	78

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de abreviaciones	4
Tabla 2. Niveles estandarizados de UNIFORMAT II	14
Tabla 3. Niveles de detalle para enfriadores (Dias y Ergon 2016)	17
Tabla 4. Ejemplo inventario (ventilación y climatización) (Fuente: Archibus, UPC Campus Terrassa)	20
Tabla 5. Información obtenida del documento Archibus (ventilación y climatización)	31
Tabla 6. Información de partida	32
Tabla 7. Elementos del sistema de climatización según UNIFORMAT II	37
Tabla 8. Parámetros para difusores, rejillas de ventilación y válvulas	38
Tabla 9. Parámetros para unidades interiores y exteriores	38
Tabla 10. Parámetros para unidad de tratamiento de aire y enfriadora	39
Tabla 11. Parámetros para conductos y tuberías	40
Tabla 12. Parámetros necesarios de difusores y rejillas según estudio (Alavi y Forcada 2019) ...	42
Tabla 13. Requisitos LOD para difusores	80
Tabla 14. Requisitos LOD para rejillas	80
Tabla 15. Requisitos LOD para válvulas	81
Tabla 16. Unidad interior tipo split seleccionada para obtener información de parámetros	81
Tabla 17. Requisitos LOD para unidades interiores (tipo split)	82
Tabla 18. Nivel LOD de los equipos interiores (tipo split) según la información obtenida	83
Tabla 19. LOD medio de información de unidades interiores (tipo split)	83
Tabla 20. Requisitos LOD para unidades interiores (tipo cassette)	84
Tabla 21. Unidad interior tipo cassette seleccionada para obtener información de parámetros	84
Tabla 22. Nivel LOD de los equipos interiores (tipo cassette) según la información obtenida	85
Tabla 23. LOD medio para unidades interiores (tipo cassette)	85
Tabla 24. Unidad exterior seleccionada para obtener información de parámetros	85
Tabla 25. Requisitos LOD para unidad exterior	86
Tabla 26. Nivel LOD de los equipos exteriores según la información obtenida	86
Tabla 27. LOD medio de unidades exteriores	87
Tabla 28. Requisitos LOD para unidad tratamiento de aire	88
Tabla 29. Requisitos LOD para máquina enfriadora	89
Tabla 30. Requisitos LOD para conductos	89
Tabla 31. Requisitos LOD resumidos para conductos	90
Tabla 32. Requisitos LOD para tuberías	90
Tabla 33. Requisitos LOD resumidos para tuberías	90
Tabla 34. Resumen de ratios	91
Tabla 35. Ratios de información ordenados de mayor a menor	92

1 Introducción

1.1 Objeto

El objeto del presente trabajo es modelar la instalación de ventilación y climatización del edificio TR5 de la Escola Superior d'Enginyeria Industrial, Aeronàutica i Audiovisual de Terrassa (ESEIAAT) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y comprobar el nivel de detalle del modelado con el real.

1.2 Alcance

El alcance de este TFM es modelar la instalación de ventilación y climatización del edificio existente TR5 del campus de Terrassa con la información necesaria para mejorar la gestión y el mantenimiento de éste por parte del departamento de Servicio de Obras y Mantenimiento de la UPC.

El trabajo incluye la recopilación de información a través de planos, visitas, reuniones, etc. del estado actual de todos los equipos de climatización del edificio.

1.3 Requisitos

- Se parte del modelo arquitectónico y estructural del edificio realizado en el trabajo final de grado de Laia Moral (Moral 2018).
- Se usará el software Autodesk Revit 2018 para modelar los elementos necesarios para las instalaciones.
- El protocolo, nivel de detalle y formato de modelado que se va a usar está en acorde con el protocolo desarrollado por Alavi y Forcada (2019).
-
- El trabajo final de master (TFM) se entregará en septiembre de 2019.
- La recopilación de información se realizará a través de planos As-built, visitas al edificio y reuniones con los responsables del mantenimiento del edificio.

1.4 Justificación

Prácticamente en los cuatro años que he estado trabajando en el mundo de la ingeniería, he aprendido muchas cosas sobre diferentes áreas y ámbitos. Una de ellas es que en todos los proyectos en los que he estado trabajando, hay una parte de control y supervisión y cada vez más, una parte de modelado.

Dependiendo de los proyectos, es muy interesante ejecutar el trabajo en modelos BIM (*Building Information Modeling*) puesto que tiene muchas ventajas y, a largo plazo, se ahorra muchas horas de ingeniería. Esto es debido a que, si el modelo tiene la suficiente información y un buen detalle de los equipos instalados, se puede obtener simulaciones, cálculos, vistas y un sinfín de beneficios para, por ejemplo, el mantenimiento del edificio. En contrapartida, obliga a tener un personal un poco más calificado ya que es necesario un conocimiento mínimo del software.

La motivación principal es aprender cómo funciona el programa y conocer alguna de sus inmensas ventajas y opciones que tiene, efectuar un listado y tenerlo en cuenta para el mundo laboral para poder decidir qué opción es la más adecuada dependiendo del trabajo que se otorgue.

Es interesante e importante conocer el tiempo necesario que se tiene que invertir para el modelado de un edificio. Hay muchos factores que pueden alterar dicho tiempo, así como la calidad y tipo de trabajo, el nivel de detalle, las dimensiones del edificio, etc, y, partiendo de los anteriores hándicaps, me gustaría conocer, aproximadamente, el tiempo necesario para que, en un futuro, poder gestionar a un equipo de personas con la máxima precisión posible.

Paralelamente a la justificación personal, es conveniente formalizar una justificación más técnica para explicar para qué sirve el modelado en BIM de las instalaciones para la gestión de edificios. A causa de las limitaciones tecnológicas que existían años atrás, la mayoría de los edificios existentes no disponen de información sobre equipos, funcionamiento, instalaciones o datos interesantes para el mantenimiento del mismo. De igual forma que no existen planos o están en papel y en mal estado por lo que es sugestivo tenerlos digitalmente. En cambio, recopilando éste tipo de información e integrarla en un modelo BIM, existe la opción de mejorar la gestión del edificio, así como la gestión del mantenimiento, gestión de espacios, ahorro de costes, control de equipos, reducción de averías e incluso conocer el impacto energético.

El grupo de investigación GRIC (Grup de Recerca i Innovació en la Construcció) de la UPC está modelando los edificios del Campus Terrassa. Por el momento ya dispone del modelo BIM (arquitectura y estructura) de los edificios TR5, TR11, TR14 (edificio GAIA) y TR30. El modelado de las instalaciones MEP es un proceso más complejo pues pocas veces se cuenta con la información necesaria y existiendo lugares físicos imposibles de alcanzar para poder realizar una inspección visual.

2 Estado del arte

BIM, es la actividad que abarca los procesos, herramientas y tecnologías facilitadas por la documentación digital, legible por una máquina sobre un edificio, así como su rendimiento, planificación, construcción y su funcionamiento (Afsari, K. & Eastman 2016).

La evolución del modelado se ha acentuado en los últimos años con la incorporación de la industria 4.0 y el uso más común del conocido concepto *big data*, ha hecho que cada vez más proyectos requieran de un modelado de 3D. Y no solo el modelado en 3D ya que BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicional incorporando información temporal (4D), costos (5D), ambientales (6D) e información de mantenimiento (7D) (Mariages 2017).

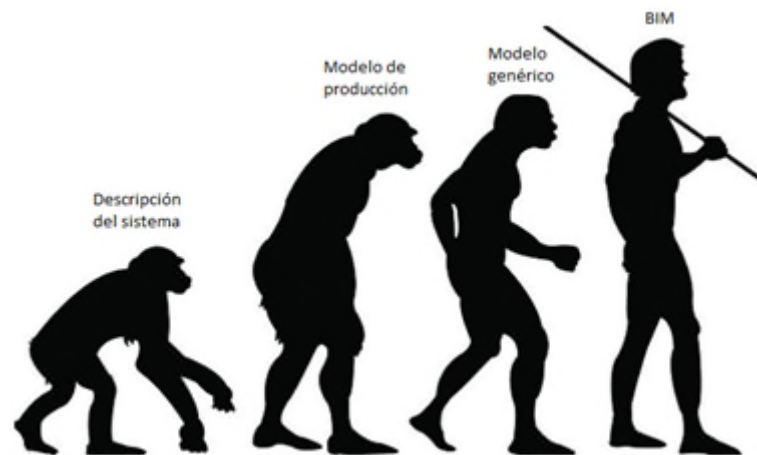


Figura 1. Evolución simbólica de BIM (BibLus 2017)

Anteriormente, el objetivo principal de un modelo BIM era básicamente crear un modelo de soporte con información básica para poder ir avanzando. Años más tarde, se tuvo en cuenta como una potente herramienta donde todas las disciplinas podrían trabajar conjuntamente. Así pues, en el sector de la construcción y edificación, se identifica tres disciplinas bien diferenciadas:

- Arquitectura
- Estructura
- Instalaciones MEP (*Mechanical, Electrical, and Plumbing*)

Una de las mayores ventajas que encontramos es que si el modelo es compartido, las distintas disciplinas pueden trabajar simultáneamente en una nube virtual donde, cada vez que sincronizas el modelo, los cambios realizados se actualizan en los modelos de los otros compañeros, siempre cuando éstos últimos realicen la sincronización con el modelo central.

Ejecutar los proyectos en BIM tiene notables ventajas así como formalizar mediciones, cálculos, adquirir presupuestos y costes o cualquier tipo de informe, siempre y cuando se le hayan introducido correctamente los datos (BibLus 2017). En todo el ciclo de vida de los edificios, el coste más elevado aparece durante la fase de operación y mantenimiento (O&M) (Brito and Pereira 2017) ya que más del 60% del coste total del proyecto está relacionado con esta fase (Akcamete, Asli et al 2010a) (Teicholz 2013a). Por otro lado la gestión de las instalaciones (FM) es una de las más importantes en la fase de O&M (Alavi y Forcada 2019).

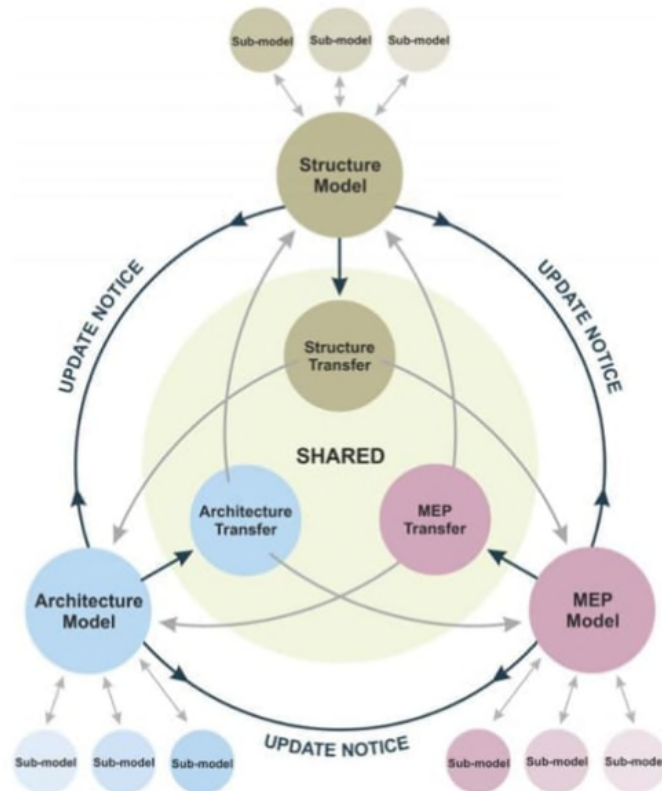


Figura 2. Trabajo conjunto entre disciplinas (BibLus 2017)

En 1999 (NISTIR 1999), se creó un documento estandarizado americano llamado *UNIFORMAT II, Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis*. En él, proponen una manera muy práctica de trabajar de forma internacional teniendo un formato común. Asimismo, existen los equivalentes para Canadá (CIQS), Inglaterra (RICK-UK) y el europeo (CEEC).

En este estándar se describen las diferentes fases del ciclo de vida de la gestión de un edificio:

1. Fase 1: planificación

Donde se identifica y se analiza las necesidades o problemas que pueden aparecer, buscando alternativas y calculando una estimación del coste total.

2. Fase 2: programación

Periodo donde se define alcance, calidad y tiempo estimado del programa. Se definen las necesidades del usuario y las pautas a seguir realizando constantes reuniones con el cliente y evaluando los posibles riesgos y el cronograma realizado. Dicho en otras palabras, se realiza un programa funcional, técnico y económico.

3. Fase 3: diseño

Se ejecuta los pasos anteriores con planos y especificaciones técnicas en tres subfases diferentes. La primera de ellas es el diseño esquemático dónde se define el alcance general y conceptual de manera que el cliente entienda y apruebe el diseño para después, ejecutarlo. A continuación, está el desarrollo del diseño donde se especifica con detalle el diseño de

todas las disciplinas involucradas (planos, secciones, detalles...). Por último, están los documentos constructivos, la fase final, donde empieza los contratos con empresas ejecutoras.

4. Fase 4: construcción

Periodo donde los planos y especificaciones anteriores son implementados en terreno cumpliendo con los requisitos establecidos e intentando seguir el cronograma y presupuesto.

5. Fase 5: operación

Es la fase más larga ya que cuenta con todo el ciclo de vida del edificio construido y termina con la retirada y demolición del edificio.

A continuación, se muestra un pequeño esquema de las 5 fases.

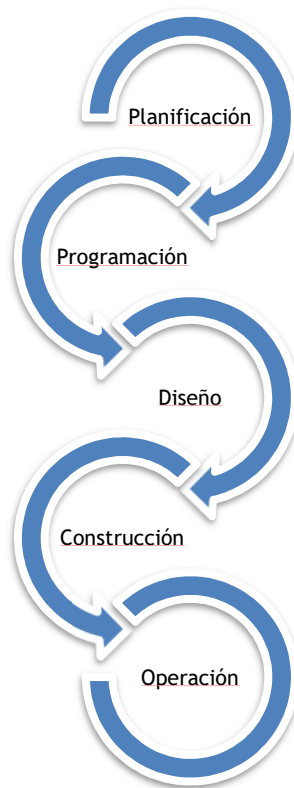


Figura 3. Esquema de fases (NISTIR 1999)

Asimismo, se determinan 3 niveles de detalle:

- Nivel 1: elementos del grupo principal
- Nivel 2: grupo de elementos
- Nivel 3: elementos individuales

Donde, en el primer nivel, se focaliza en los elementos comunes o típicos que se encuentran en los distintos edificios. La clasificación *Uniformat* (NISTIR 1999) se usa para clasificar cinco categorías: 1) Estructura; 2) Arquitectura (exterior, puertas, cubierta...); 3) Interiores (muros, techos); 4) Servicios (HVAC, fontanería, electricidad...); 5) Equipamiento y mobiliario. Puesto

que éste trabajo trata de los elementos relacionados con las instalaciones MEP, se pondrá el ejemplo de las mismas.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Elementos del grupo principal	Grupo de elementos	Elementos individuales
D. Servicios	D10 Transporte	D1010 Ascensores
		D1020 Escaleras
		D1090 Otros
	D20 Fontanería	D2010 Elementos fontanería
		D2020 Agua domestica
		D2090 Otros
	D30 HVAC	D3010 Energía
		D3020 Generación de calor
		D3090 Otros
	D40 PCI	D4010 Aspersores
		D4020 Tuberías
		D4090 Otros
	D50 Electricidad	D5010 Servicios eléctricos
		D5020 Iluminación
		D5090 Otros

Tabla 2. Niveles estandarizados de UNIFORMAT II

Teniendo en cuenta los distintos estándares existentes, los autores, por ejemplo (COBie 2013), asignaron las propiedades de las instalaciones según los elementos, propiedades o áreas (Figura 4), que equivale al nivel 1, nivel 3 y nivel 2, respectivamente (ver Tabla 2).

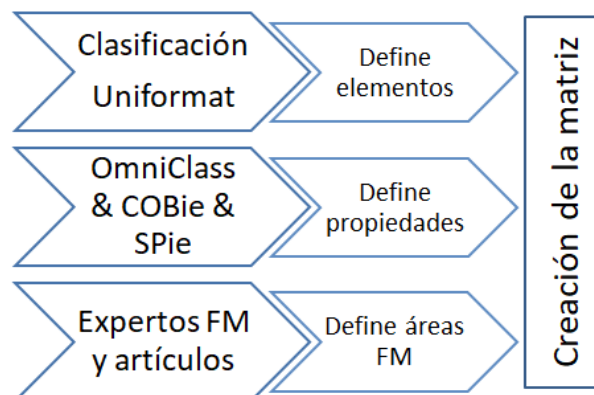


Figura 4. Proceso creación de la matriz (ver 5 Requerimientos LOD de instalaciones)

Los elementos son todos esos objetos y entidades que aparecen en un sistema MEP determinado. En cambio, las propiedades son las características que forman los elementos anteriormente explicados. Por último, las áreas se refieren a la instalación a modelar, así como la parte eléctrica, fontanería o protección contra incendios. El conjunto de los tres tipos de información forman la matriz similar a la Tabla 2.

Dentro de cada modelo BIM, la información que se puede introducir es muy variada, pero se tiene que tener en cuenta que cuanta más información se introduzca, más pesará el modelo llegando a tener problemas de ejecución o velocidad de modelaje. Así pues, es importante conocer el nivel de detalle que queremos ya que influirá en la creación virtual. A raíz de los motivos comentados, en 2008, el Instituto Americano de Arquitectos ((AIA) 2008) dio a conocer el término LOD (en inglés, *Level of Detail*) en su publicación "AIA E202-2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit" (BIMForum 2015). Para el desarrollo de un proyecto BIM, es esencial que previamente se fije un nivel de LOD, LOI (*Level of information*), y BEP (*BIM Execution Plan*) que se definen en la parte final del presente apartado.

Existen distintos niveles de LOD, dependiendo de si queremos un simple boceto o un modelado con mucho detalle.

- LOD 100: el elemento modelado es representado como un símbolo o una representación genérica.
- LOD 200: el elemento modelado es representado gráficamente como un sistema genérico, objeto o con información básica tal como tamaño, orientación, localización, etc.
- LOD 300: el elemento modelado es representado gráficamente dentro de un sistema específico. No solo se introduce información gráfica, sino también técnica para poder llegar a definir costes.
- LOD 350: el elemento modelado es representado gráficamente dentro de un sistema específico y con interacción con otros sistemas.
- LOD 400: el elemento modelado tiene mucho más nivel de detalle, así como su fabricación, montaje, instalación, etc.
- LOD 500: el elemento modelado se le llama modelo *As Built* ya que contiene toda la información posible siendo exacto al elemento real.

El nivel LOD 350 surgió en 2011 por un grupo de usuarios del US Chapter of BuildingSMART International donde definieron los usos de los elementos modelados. Paralelamente a la información del LOD 300, incluye elementos que hacen interferencia entre otras disciplinas, así como los ítems de uniones, por lo que es imperial una perfecta coordinación para evitar posibles *clashes*¹.

¹ Término empleado en el modelaje en BIM para hacer referencia a elementos que están sobrepuestos unos encima de otros.

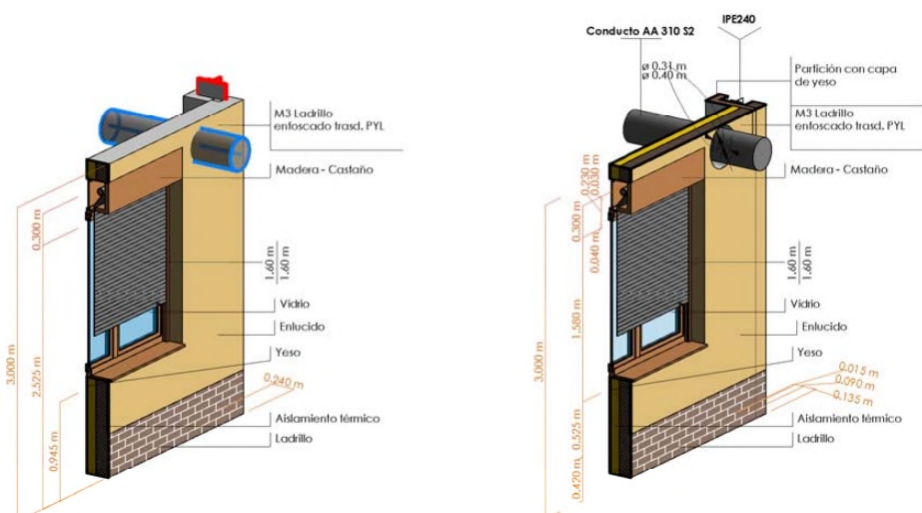
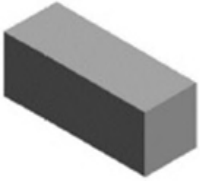
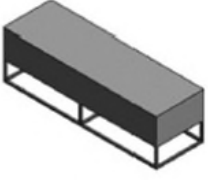
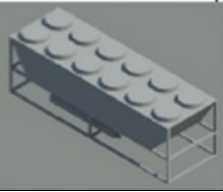



Figura 5. Diferencia entre LOD 300 (izda) y LOD 350 (dcha) (Madrid s.f.)

En la siguiente tabla podemos observar un ejemplo de niveles de LOD relacionado con enfriadores de climatización.

Nivel LOD	Imagen representativa	Característica
LOD 100		Tamaño aproximado, peso, volumen, localización y orientación.
LOD 200		Cantidad de piezas para el elemento, tamaño, forma, geometría y orientación.
LOD 300		Información precisa y detallada sobre el tamaño, forma, localización, cantidad de piezas, geometría y orientación de los componentes.
LOD 350		Información precisa y detallada sobre el tamaño, forma, localización, cantidad de piezas, geometría y orientación de los componentes incluyendo elementos relacionados con otros sistemas del edificio.

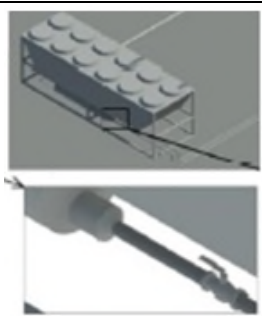
Nivel LOD	Imagen representativa	Característica
LOD 400		<p>Información precisa y detallada sobre el tamaño, forma, localización, cantidad de piezas, geometría y orientación de los componentes incluyendo elementos relacionados con otros sistemas del edificio juntamente con componentes suplementarios necesarios para la fabricación e instalación.</p>

Tabla 3. Niveles de detalle para enfriadores (Dias y Ergon 2016)

En ocasiones se emplea LOD 500 pero posee demasiada información donde muchas veces no es requerida y complica el modelado de la instalación (Cavka et al. 2017)

En el artículo de (Dias y Ergon 2016) definen un nivel de LOD para los elementos principales del sistema ventilación y climatización para su mantenimiento. Algunos de los elementos son unidad de aire acondicionado, medidor de flujo, torre de enfriamiento, intercambiador de temperatura, terminal de aire, amortiguador, humidificador, silenciador, bomba, caldera, motor, tanque, compresor y un largo etcétera.

En cambio, COBie define el LOD según la funcionalidad (mantenimiento) del edificio como localización, número de serie, nombre etiqueta, fecha de instalación, garantía o plan necesario de mantenimiento.

No obstante, hay una falta de definición apropiado de LOD para ajustar estos atributos a la fase de O&M. Para este TFM no se utiliza un LOD concreto ya que para cada elemento se obtiene familias con información y parámetros muy distintos pues el origen de la familia es variado. Siempre que ha estado posible, se ha usado el LOD más elevado.

Una vez se conoce la descripción del LOD es interesante incluir la terminología LOI. El LOI son los requisitos para la información no gráfica. En comparación al LOD, no tiene un nivel estandarizado (Camilo 2018), aunque las organizaciones hablen de la información necesaria para el uso y el modelado, no hay un redactado oficial con niveles de LOI por lo que LOD y LOI tienen una estrecha separación entre ambos.

BEP, es un documento contractual necesario ya que es una planificación para explicar cómo se llevarán a cabo los aspectos del modelado y la información durante el desarrollo del proyecto (Margalef 2015). En el documento aparece de forma clara los objetivos y alcance del proyecto, sus distintas fases y niveles LOD, actividades principales, hitos, criterios de aceptación, control de calidad, etc.

También incluye otros muchos conceptos tal como el nivel de información, nivel de confiabilidad, nivel de completado, nivel de realismo, parámetros de calidad o relevancia, entre muchos otros de los cuales no se describirán en el presente proyecto pues se encuentra fuera del alcance principal.

El procedimiento para el modelado de edificios nuevos y edificios existentes es diferente ya que la información de partida varía. En edificios existentes, BIM puede que no exista y se debe efectuar una recopilación de información existente (papel, historial de mantenimiento, visitas a campo...).

Para edificios ya construidos, normalmente no existe el modelo BIM por lo que se tiene que modelar desde cero a través de técnicas de captura, encuestas o documentación variada (Donath 2009). Sin embargo, dicha documentación puede que no esté disponible o no actualizada quedando obsoleta. Si en cambio, el modelo BIM está disponible, proviene de la fase de diseño y construcción donde normalmente no contienen la información necesaria para ejecutar tareas para la gestión de las instalaciones (FM) (Dias y Ergon 2016).

3 Metodología

Para modelar la instalación de ventilación y climatización del edificio TR5 de la UPC se partirá de la base de la estructura y arquitectura (Moral 2018). Para ello, se seguirán los siguientes pasos.

El primer paso a efectuar será una descripción general del edificio objeto de estudio y una recopilación de información, ya sea a través del servicio de mantenimiento de la UPC o de trabajos realizados por antiguos compañeros y sus trabajos finales de grado o máster.

Paralelamente y en base a la revisión bibliográfica y al estudio realizado por Alavi y Forcada (2019), se describirá el procedimiento LOD requerido para la gestión y modelado de edificios existentes.

A posteriori, se describirá el edificio objeto del modelado y se modelará la instalación de ventilación y climatización del mismo, teniendo en cuenta los aspectos y elementos que se detallarán en el transcurso del trabajo.

Una vez se obtenga la información de los equipos de la instalación del edificio, se llevará a cabo una búsqueda de datos trascendentes de los mismos, intentando obtener sus fichas técnicas (*datasheet*) y la familia del equipo modelado en Revit. En caso contrario y dependiendo de la instalación, se buscará otra solución satisfactoria.

Si fuera necesario, se efectuará alguna visita en el propio edificio con el responsable del servicio de obras y mantenimiento del campus para adquirir información no detallada o realizar comprobaciones visuales en caso de discrepancia entre información proporcionada.

Por último, se llevará a cabo un pequeño análisis y discusión para comprobar el nivel de detalle que existe en el formato digital y el real instalado, así como el nivel de dificultad que existe para modelar un edificio ya existente.

4 Datos de partida

Para modelar un edificio en BIM se requiere conocer en detalle las características constructivas del edificio objeto, así como una descripción de la información que se ha podido obtener gracias al servicio de obras y mantenimiento del campus y antiguos compañeros que han realizado trabajos finales de grado o master.

Tal y como se muestra en la Tabla 6, el modelado de la parte estructural y arquitectónica del edificio objeto ha sido facilitado por Moral (2018).

El servicio de obras y mantenimiento del campus de Terrassa proporcionó unos planos As-built del edificio con información muy básica, tal como la ubicación e identificación de los equipos, pero sin especificar sus características (ver anejo I.I). En estos planos no quedan reflejados las modificaciones, rehabilitación, etc. que sufre el edificio por lo que los planos quedan, en parte, obsoletos.

Paralelamente, el mismo departamento facilitó el inventario actual (Archibus) de todas las disciplinas del edificio (equipos relacionados con la climatización, PCI y agua sanitaria, entre otros) donde contenía el nombre del equipo, ubicación, marca y/o modelo del fabricante, pero no contenía otro tipo de información necesaria, así como las características físicas, potencia, conexionado, diámetros, etc (ver anejo II). En la tabla siguiente se adjunta un ejemplo de la instalación de climatización:

Codigo de equipo	Codigo de planta	Codigo espacio	Estandar de equipo	Marca	Modelo	Numero serie	Fecha instalacion	Estado del equipo	Subcomponente equipo
TR-CLIS0267	P01	162	CLI-SPLITINTER	MITSUBISGI				En servei	TR-CLI133
TR-CLIS0266	P01	160	CLI-SPLITINTER	MITSUBISHI				En servei	TR-CLI132
TR-CLIS0265	P01	159	CLI-SPLITINTER	FUJITSU				En servei	TR-CLI131
TR-CLIS0264	P01	157	CLI-SPLITINTER	MITSUBISHI	MSZ-GE35VA-E1-CE			En servei	TR-CLI130
TR-CLIS0263	P01	158	CLI-SPLITINTER					En servei	TR-CLI129
TR-CLIS0262	P02	280	CLI-SPLITINTER	CARRIER				En servei	TR-CLI128
TR-CLIS0261	P02	281	CLI-SPLITINTER	CARRIER				En servei	TR-CLI127
TR-CLIS0260	P02	279	CLI-SPLITINTER	FUJITSU				En servei	TR-CLI126
TR-CLIS0259	P02	282	CLI-SPLITINTER	FUJITSU				En servei	TR-CLI125
TR-CLIS0258	P02	276	CLI-SPLITINTER	MITSUBISHI				En servei	TR-CLI124
TR-CLIS0257	P02	275	CLI-SPLITINTER	MITSUBISHI				En servei	TR-CLI123
TR-CLIS0256	P00	081	CLI-SPLITINTER	DAIKIN				En servei	TR-CLI122
TR-CLIS0255	P02	233	CLI-SPLITINTER	MITSUBISHI				En servei	TR-CLI121
TR-CLIS0254	P01	141	CLI-SPLITINTER	MITSUBISHI				En servei	TR-CLI120
TR-CLIS0251	P01	101A	CLI-SPLITINTER	DAIKIN	FDQ125B8V3B			En servei	TR-CLI118
TR-CLIS0250	P03	307	CLI-SPLITINTER	MITSUBISHI				En servei	TR-CLI117
TR-CLIS0249	P02	203	CLI-SPLITINTER	DAIKIN				En servei	TR-CLI116
TR-CLIS0248	P01	114	CLI-SPLITINTER	DAIKIN				En servei	TR-CLI115

Tabla 4. Ejemplo inventario (ventilación y climatización) (Fuente: Archibus, UPC Campus Terrassa)

Tal y como se muestra en la tabla anterior, en muchos de los equipos no disponen del modelo e incluso existe algún caso que se desconoce el propio fabricante.

A su vez, se recibió planos As-built (anejos I.II y I.III) de distintos proyectos para la renovación de la ventilación y climatización de la parte este de la universidad.

Se entra más en detalle en el apartado 4.2 Recopilación de información.

4.1 Descripción del edificio TR5

El edificio TR5, construido entre los años 50 y 70, se encuentra ubicado en la calle Colom número 11 en Terrassa.



Figura 6. Ubicación TR5 campus Terrassa

Pertenece a un conjunto de edificios universitarios donde todas juntas forman el campus de la UPC de Terrassa.

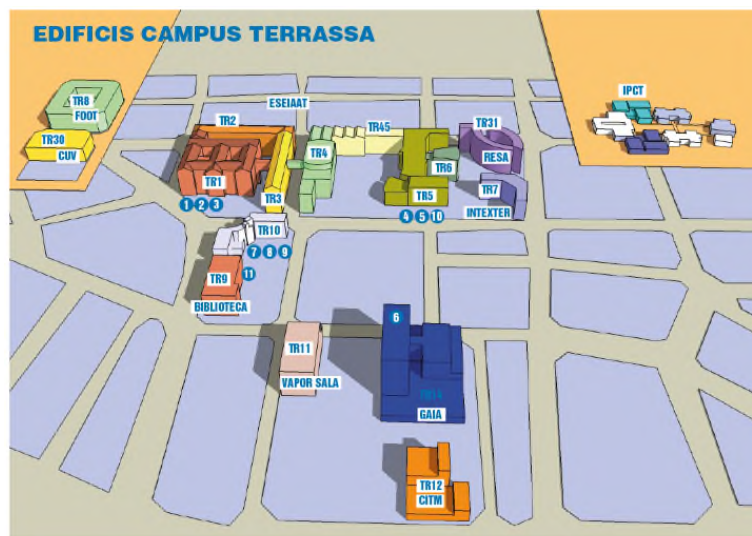


Figura 7. Edificios campus Terrassa

Se trata de un edificio cuya función principal es la docencia y existen varios tipos de salas con distintas funcionalidades:

- Oficinas
- Aulas
- Vestíbulos, pasillos, escaleras
- Laboratorios

- Salas de conferencia
- Baños
- Comedores, zonas de descanso
- Salas de estudio

El edificio objeto de estudio consta de un pasillo central donde une la parte este con la parte oeste. El edificio está formado por 5 plantas y éstas están divididas por diferentes espacios descritos en el listado anterior. En el anejo IV se muestra una tabla con todos los espacios, separados por plantas. A continuación, se procede a la descripción por planta y se entra en detalle del espacio ocupado:

- Planta inferior (sótano)

Justo debajo del pasillo central de la universidad, se ubica la galería de servicios de 289,39 m² que conecta un extremo del edificio (parte este) con la sala de calderas (52,14 m²) y un pequeño almacén. Existe una sala de almacenamiento de archivos de 134,41 m², laboratorios varios, vestuarios dotados con agua caliente, algún despacho y el gimnasio, con una superficie de 215,83 m². En la misma planta se encuentra los calentadores de gas y el control del riego para jardines adyacentes.



Figura 8. Planta inferior

- Planta principal

La planta principal consta de tres entradas diferentes. Entrando por la puerta principal (calle Colom), encontramos un vestíbulo de 303,09 m² con un pasillo principal de 242,07 m² (justo encima de la galería explicada con anterioridad) y, a la izquierda del mismo vestíbulo, una sala de actos de 237,40 m². En cambio, en la parte derecha, se ubican distintos despachos de profesorado, una sala de juntas y el área de relaciones externas y promoción institucional. Entrando por la puerta secundaria (acceso desde dentro del recinto de la universidad y delante del campo de fútbol) encontramos otro vestíbulo de 52,32 m² y, a su lado, un comedor de 95,22 m². En la misma planta, encontramos distintas aulas y despachos, el

servicio de reprografía, una expo-sala, lavabos, laboratorios de termodinámica y fisicoquímica y salas técnicas (depósito de agua y cuadros eléctricos con escaleras que conectan al sótano). La tercera entrada (puerta que da a la calle Ramón y Cajal) conecta directamente con la planta principal y el primer piso, con una superficie aproximada de 19,90 m².

- Planta 1

De este a oeste (justo encima del vestíbulo de la entrada principal), en la primera planta cabe destacar la sala de secretaria – administración (109,07 m²), la secretaria académica (114,82 m²) y la sala de conferencias (95,92 m²). También se encuentran despachos, lavabos, aulas, seminarios, algún almacén y una pequeña biblioteca. También, se ubican 3 laboratorios de física y pequeño taller y aulas con ordenadores para estudiantes (50,81 m²).

- Planta 2

La estructura de la segunda planta es muy similar a la anterior puesto que también encontramos despachos, aulas, laboratorios y lavabos. Subiendo por las escaleras centrales, se encuentra un aula con ordenadores para uso común de los estudiantes. Cabe destacar que es la única planta donde hay instalados ventiladores en 4 aulas distintas.

- Planta 3

Por último, la tercera planta también es similar a las dos anteriores con laboratorios, despachos y aulas. También consta de un pasillo central de 355,17 m², lavabos y más aulas de ordenadores para estudiantes. Destaca que es la única planta que consta de climatización para todos los despachos y aulas mientras que, en las otras plantas, solo los despachos constan de aire acondicionado. En la parte este, existe una terraza, de acceso restringido, donde se ubicaban ciertos equipos de climatización, que alimentan a distintos equipos de aire acondicionado de diferentes plantas.

- Azotea

En la azotea, también de acceso restringido, se hallan más equipos exteriores de aire acondicionado, la unidad enfriadora (Figura 19) y la unidad de climatización (Figura 20).



Figura 9. Fachada TR5 campus Terrassa

En el transcurso de los años, el edificio ha ido sufriendo una serie de cambios en las instalaciones existentes, pero no todos los cambios han sido perfectamente documentados

por lo que se ha perdido trazabilidad con la información que adquiere el servicio de obra y mantenimiento del campus. Para entrar en más detalle, un buen ejemplo es el sistema de calefacción mediante agua caliente donde actualmente hay muy pocos puntos donde aún se emplea mientras que en los planos actuales hay información no actualizada. Se ha podido saber gracias a una reunión que se mantuvo con el responsable del servicio de obras y mantenimiento del campus de Terrassa que se explicará en el apartado 4.2.1.

El objetivo principal para la climatización de la universidad era que cada planta dispusiera de su propio equipo de producción de agua fría junto con su propio climatizador de aire primario de ventilación. Se decidió éste tipo de climatización ya que es un sistema muy preciso y asegura un importante ahorro energético mediante recuperadores de calor y módulos de free-cooling. En la actualidad, únicamente la tercera planta contiene éste tipo de climatización mientras que todo el edificio está dotado de sistema de calefacción.

Consta de un sistema mixto aire-agua a 4 tubos para cubrir, de manera separada, la ventilación y las cargas interiores de refrigeración y/o calefacción por lo que se distribuye simultáneamente agua caliente y agua fría en dos redes paralelas (Ribé 2006). La máquina de tratamiento de aire se ubica en la azotea y distribuye el aire tratado a través de un conducto rectangular ubicado en el falso techo de la tercera planta. Para el aire de retorno, no existe un conducto específico sino que el propio falso techo actúa como tal. Finalmente, el aire ubicado en el falso techo sube por un conducto y retorna a la máquina principal para volver ser tratado (recuperador de calor).

Exceptuando la zona de despachos (zona este) y secretaría académica de la primera planta, la climatización de los despachos y algún laboratorio del resto de plantas se realiza mediante equipos individuales con unidades exteriores (ver Figura 22) que pueden alimentar uno, dos, tres o incluso cuatro unidades interiores de aire acondicionado tipo *Split* o *cassette* (ver Figura 30).

En diciembre de 2016, la universidad quiso remodelar la zona de despachos que se ha comentado en el párrafo anterior centralizando la climatización mediante un equipo de ventilación con recuperador de calor. Dicha máquina se ubica en la oficina UTG y es una VAM-1500 de Daikin

4.2 Recopilación de información

Para modelar las instalaciones del edificio TR5 se partió del modelo de arquitectura y estructura, en formato Revit (Moral 2018). En la siguiente imagen se muestra, en la parte superior, el modelo definitivo mientras que, en la parte inferior, el edificio objeto desde una vista satélite.

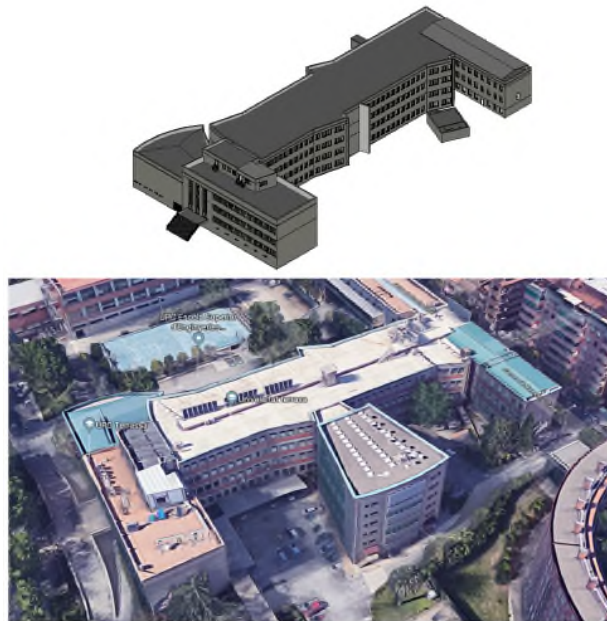


Figura 10. Edificio TR5. Arriba: modelo. Abajo: imagen satélite (Moral 2018)

El modelado consta de las cinco plantas del edificio, espacio que representa el suelo técnico y falso techo (por donde pasan conductos, tuberías, bandejas para cables, etc), todas las fachadas al mínimo detalle, aulas y azotea (sin tener en cuenta la pasarela central o rejillas que sujetan equipos de climatización).

Para conocer el conexionado de climatización entre equipos y conductos de la tercera planta, se ha usado los planos de Ribé (2006) (anexo I.IV) donde muestra el tamaño y conexionado de las tuberías y conductos y desde qué equipo se alimentan (todos ellos etiquetados con una referencia). También aparecen las características básicas (tipo, caudal, tamaño, modelo y cantidad) de las rejillas de ventilación de retorno de cada aula. Debido a que estas rejillas que no aparecen dibujadas en el esquema, se ha hecho una visita al edificio para ubicarlos. Como el falso techo actúa como un gran conducto solamente se ha modelado las rejillas, teniendo en cuenta dimensiones y caudal.



*Figura 11. Rejilla retorno en falso techo
(ubicada en el aula 3.6 de la tercera
planta)*



*Figura 12. Rejilla retorno en pared
(ubicada en el aula PC7 de la tercera
planta)*

Otra información de interés es el circuito de tuberías que alimentan los *fan coils* y sus caudales y diámetros. Esta información también se obtuvo de Ribé (2006) que realizó un estudio para la climatización de la tercera planta obteniendo resultados de cargas térmicas para verano y para invierno, qué tipo de maquinaria se debería instalar y cálculo de la red de tuberías y conductos respetando siempre la normativa vigente por lo que se conoce el caudal de cada tramo (l/h), el diámetro (pulgadas) y el modelo de *fan-coil* asociado.

PLANTA 3 (hivern)						
Codi Entrada	Codi Sortida	Cabal tram (l/h)	DN	P. disponible (m c.a.)	Vàlvula equilibrat	Model fan-coil
0	n00	26789.0	3-1/2"			
n00	cl03	13599.0	2-1/2"	2.1	CLIM_h	CTA-10
n00	333a	13190.0	2-1/2"			
333a	333a2	1212.0	3/4"		TIPUS 3	
333a2	fc333a1	404.0	1/2"	3.7		DWK-631-4T
333a2	333a3	808.0	3/4"			
333a3	fc333a2	404.0	1/2"	3.5		DWK-631-4T
333a3	fc333a3	404.0	1/2"	3.3		DWK-631-4T
333a	334	11978.0	2-1/2"			
334	334a2	1212.0	3/4"		TIPUS 3	
334a2	fc334a1	404.0	1/2"	3.7		DWK-631-4T
334a2	334a3	808.0	3/4"			
334a3	fc334a2	404.0	1/2"	3.5		DWK-631-4T
334a3	fc334a3	404.0	1/2"	3.3		DWK-631-4T
334	331	10876.0	2-1/2"			
331	331a	496.0	1/2"			
331a	fc331	248.0	1/2"	2.4	TIPUS 1	DWK-231-4T
331a	fc332	248.0	1/2"	2.4	TIPUS 1	DWK-231-4T
331	333b	10380.0	2-1/2"			
333b	333b2	1212.0	3/4"		TIPUS 3	
333b2	fc333b1	404.0	1/2"	3.3		DWK-631-4T
333b2	333b3	808.0	3/4"			

Figura 13. Ejemplo información de tuberías (Ribé 2006)

En la Figura 13 se muestra un ejemplo sobre las tuberías solamente en invierno. En el anejo I.IV se detalla al completo la información proporcionada en las Figura 13 y Figura 14.

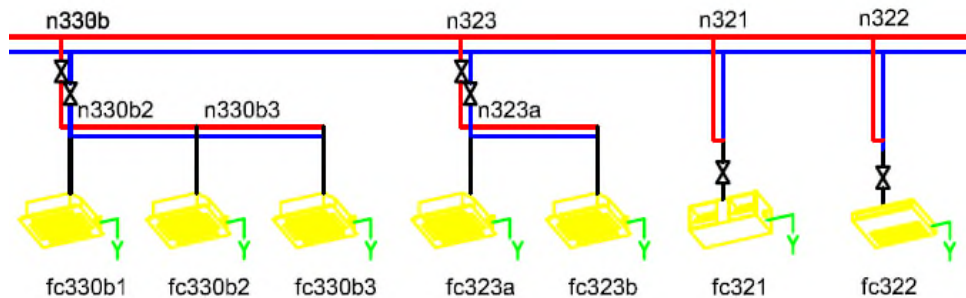


Figura 14. Ejemplo: Nombre de tuberías y equipos de climatización relacionadas con Figura 13
(Ribé 2006)

Todos los conductos pasan por un falso techo, por lo que no se puede comprobar visualmente. Se ha elaborado una hipótesis dando por válido la información obtenida (punto 2 de la Tabla 6).

Se modelan los siguientes elementos:

- Equipos interiores: equipos de impulsión de aire refrigerado dentro de las aulas y despachos (elementos tipo *Split*, *cassette*).
- Equipos exteriores: equipos que generan el intercambio de temperatura del aire situados en la fachada o azotea del edificio.
- Conductos: conductos de ventilación por donde pasa el aire a repartir dentro de las aulas o despachos. En algunos casos se conoce:
 - Conexionado
 - Tamaño
 - Tipo (rectangular o circular)
 - Caudal de aire
- Rejillas: filtros que se colocan para absorción de posibles impurezas.
- Difusores: elementos usados para expulsar el aire en las distintas aulas y despachos.
- Ventiladores: elemento para mover y crear corriente de aire.
- Tuberías: conductos por donde pasa el líquido refrigerante. Se conoce:
 - Conexionado
 - Tamaño
 - Caudal
- Válvulas: elementos usados para la regulación de fluido en las tuberías de los *fancoils*.
- Enfriadora: máquina para refrigerar aire o líquido.
- Unidad de tratamiento de aire: climatizadora que permite realizar un tratamiento integral del aire utilizando el sistema de climatización controlando todas las variables del aire, así como el aporte de aire exterior, calidad de aire, filtrado, temperatura o humedad.

Por último, se conoce el modelo de la planta enfriadora y la maquina climatizadora situadas en la azotea del edificio:

- Planta enfriadora: YCSA-150-TP-380T (YORK)
- Maquina climatizadora: CTA-10 (SERVOCLIMA)

Otra información de entrada, facilitada por el servicio de obra y mantenimiento del campus, son los planos As-built de las instalaciones y situaciones actuales con algunos de los elementos necesarios que forman las instalaciones en formato CAD (ver anejo I.I). En este caso, la información de la que se dispone en relación al sistema de climatización es:

- Equipos interiores: se conoce:
 - Nombre del equipo
- Equipos exteriores: se conoce:
 - Nombre del equipo
- Difusores
- Ventiladores

Todos los elementos anteriores están claramente ubicados en los planos exceptuando la altura de montaje o el tipo de anclaje por lo que se ha tenido que modelar basándose en hipótesis. El conexionado entre el equipo interior y el equipo exterior para los aires acondicionados de los despachos (tanto tuberías como conductos por donde pasa el aire) no aparecen en dichos planos. Para saber por dónde pasan las tuberías, se visitó un par de ellos y se extrapoló a todos los demás. Otro ejemplo de información no proporcionada es la ubicación de las rejillas de ventilación, tanto de impulsión como de retorno. A continuación, se muestra una figura del sistema de ventilación y climatización de la tercera planta:

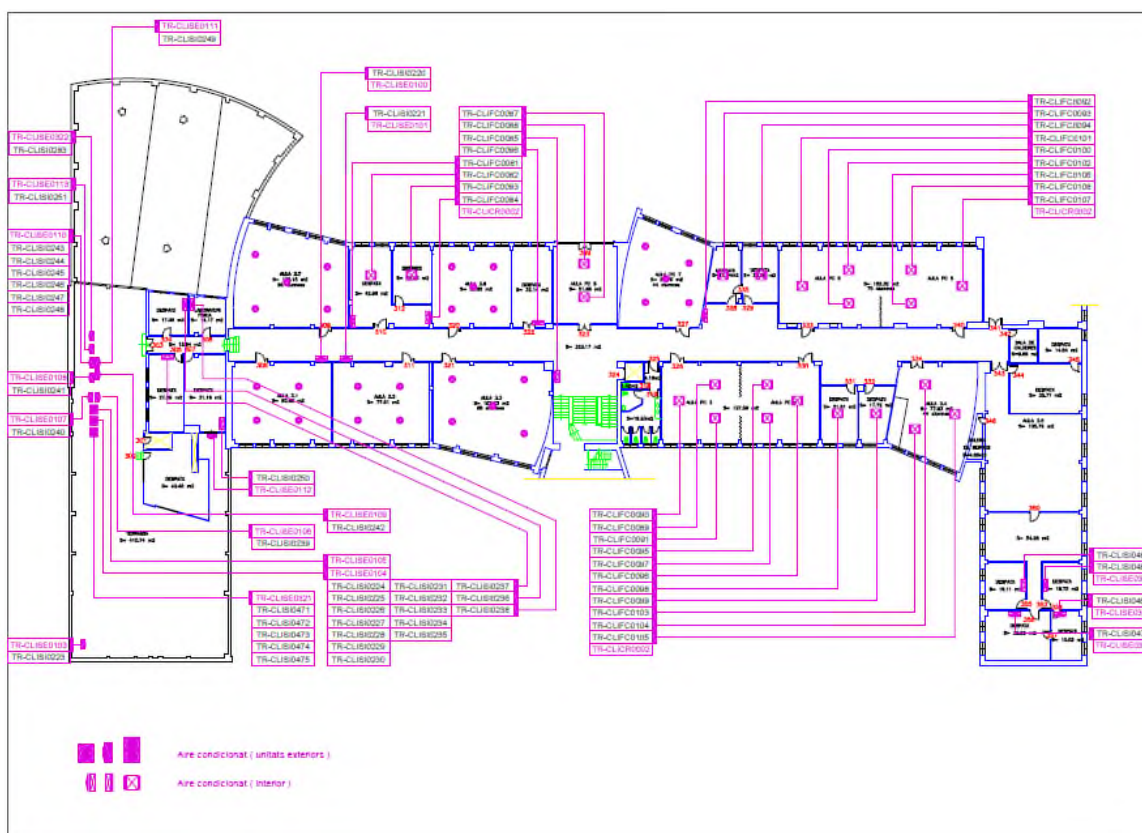


Figura 15. Información del sistema ventilación y climatización de la tercera planta (anexo I.I)

Para poder observar con más detalle, la siguiente figura muestra una parte del plano, de forma ampliada, donde aparecen algunos de los equipos interiores de climatización (etiquetado de color negro) y desde qué unidad exterior (etiquetado color magenta) se alimenta y los distintos difusores en las aulas.

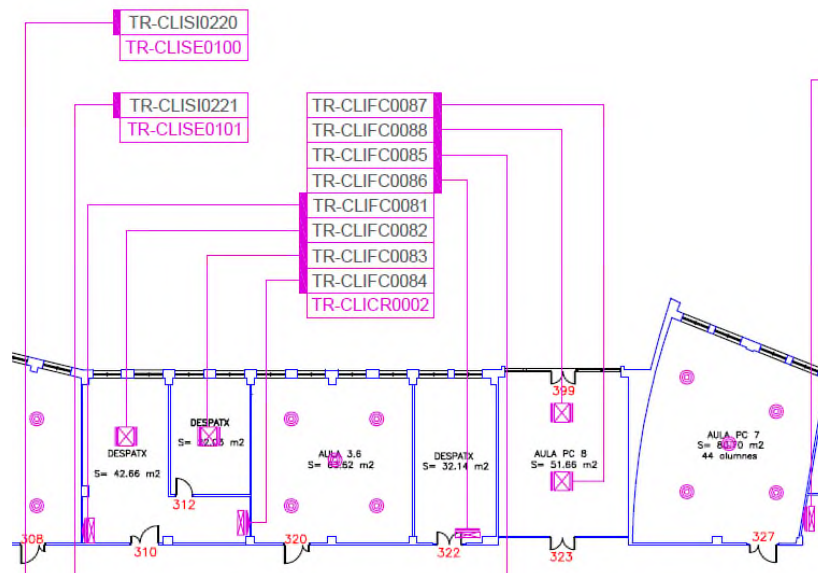


Figura 16. Zona ampliada del sistema ventilación y climatización de la tercera planta

En la siguiente imagen se aprecia el conexionado entre los equipos finales y el conducto principal, junto con sus tamaños de la misma zona que aparece en la Figura 16.

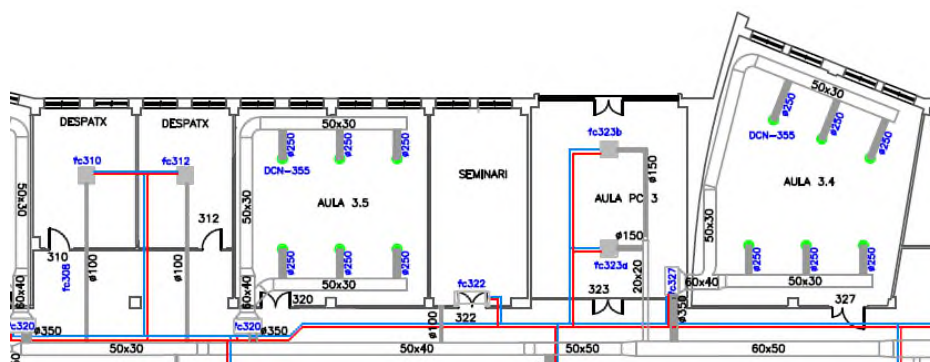


Figura 17. Conexiones de equipos (Ribé 2006)

Cada equipo de climatización tiene su propio código donde, a continuación, se detalla el significado de cada uno de ellos:

- TR-CLIXX0003: Terrassa (TR) – Climatización (CLI) – Xarxa (XX) – Unidad (0000)
- TR-CLIVR*05: Terrassa (TR) – Climatización (CLI) – VRV (VR) – Unidad (00)
- TR-CLISI0220: Terrassa (TR) – Climatización (CLI) – Split Interior (SI) – Unidad (0000)
- TR-CLISE0100: Terrassa (TR) – Climatización (CLI) – Split Exterior (SE) – Unidad (0000)
- TR-CLIFC0081: Terrassa (TR) – Climatización (CLI) – FanCoil (FC) – Unidad (0000)

- TR-CLICR0012: Terrassa (TR) – Climatització (CLI) – Recuperador (R) – Unitat (0000)
- TR-CLIRA0005: Terrassa (TR) – Climatització (CLI) – Recuperador Agua (RA) – Unitat (0000)

Otra de los planos As-built son las fachadas del edificio con la ubicación de los equipos exteriores situados alrededor de la fachada.

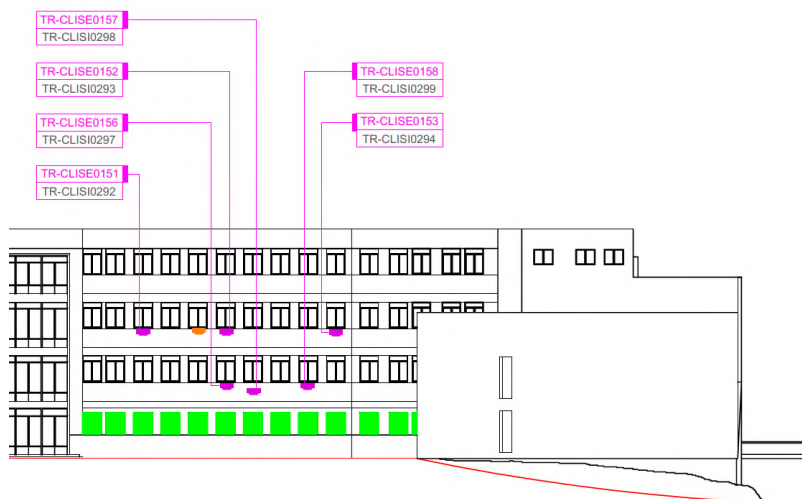


Figura 18. Ubicació de los equipos exteriores de climatització

Conjuntamente, el mismo departamento facilitó el inventario (Archibus) de todos los equipos existentes en el edificio. Concretamente, para el sistema de climatización, alguno de los equipos de climatización (interiores y exteriores) disponían de marca y fabricante. Por tanto, se consultó su ficha técnica para la obtención de los parámetros necesarios. Paralelamente, se buscó el modelo en Revit de estos equipos. Desafortunadamente, la mayoría de los equipos no disponen de modelo Revit por ser antiguos. Finalmente, se usará el mismo equipo de aire acondicionado para todos los modelos, independientemente si se conoce o no su fabricante o modelo donde posteriormente se modificarán los parámetros introduciendo los facilitados en el inventario. En la siguiente tabla se muestra la información que adjunta:

Característica	Ejemplo
<i>Codi d'equip</i>	TR-CLISI0474
<i>Codi d'edifici</i>	TR-_5
<i>Codi de planta</i>	P01
<i>Codi d'espai</i>	120
<i>Columna situada prop de</i>	
<i>Categoria d'equip</i>	CLIMATITZACIÓ
<i>Estàndards d'equip</i>	CLI-SPLITINTER
<i>Ús d'equip</i>	CLIMATITZACIÓ D'ESPAYS
<i>Marca</i>	DAIKIN
<i>Model</i>	FXSQ32
<i>Nombre de sèrie</i>	
<i>Característica principal</i>	
<i>Data d'instal·lació</i>	

Característica	Ejemplo
<i>Estat de l'equip</i>	En servei
<i>Subcomponent d'equip</i>	

Tabla 5. Información obtenida del documento Archibus (ventilación y climatización)

Como se observa en la tabla anterior, solo algunos parámetros son interesantes. Así pues, la información que si se obtiene, se ha introducido en los parámetros de los elementos siempre y que respete los parámetros del nivel de LOD (Alavi y Forcada 2019).

El inventario también contiene información de las instalaciones restantes, así como todos los equipos relacionados con las instalaciones de seguridad, gas, contra incendio, energías renovables, electricidad, comunicaciones, climatización, calefacción, elevadores, agua sanitaria y sistema de riego.

Semanas más tarde, se recibió unos proyectos de remodelación del edificio TR5 en 2005 y 2016, permitiendo actualizar la información del sistema de ventilación y climatización del edificio (ver anejos I.II y I.III).

En el proyecto ejecutado en 2005 (anexo I.II) se remodeló la parte izquierda (este) de la universidad de todas las plantas exceptuando la primera. En la remodelación se instalaron equipos de climatización en todos los despachos donde se controlaba los equipos a través de una misma maquina (VRV modelo RXYQ16M de DAIKIN) instalada en la azotea.

La intención de la remodelación de la planta 1 se realizó en 2016 instalando distintas unidades de climatización y varios difusores para los despachos y secretarías. Como se explicara más adelante (6 Modelado instalación de ventilación y climatización) la universidad no tenía suficiente presupuesto para ejecutar todas las modificaciones por lo que solamente se adaptó una zona. La adaptación de la secretaria académica (aula 130) también entró dentro del proyecto.

A modo resumen, se muestra una tabla con toda la información obtenida, fuente, autor y año de ejecución.

id	Información adquirida	Tipo de documento	Nombre proyecto	Nombre autor	Año
1	Arquitectura y estructura	Revit	Study of the integration of satisfaction surveys into Building Information Models	Laia Moral Ripollès	2018
2	TFG / TFM	Formato papel	Projecte de climatització de la planta 3a del tr5 (ETSEIAT) del campus de Terrassa de la UPC	Oscar Ribé Torijano	2006
3	Requerimientos LOD	Excel	BIM LOD for facility management tasks	Seyed Hamidreza Alavi Nuria Forcada Matheu	2019
4	Planos As-built	AutoCad	-	Servicio de obras y mantenimiento	2017
5	Inventario (Archibus)	Excel	-	Servicio de obras y mantenimiento	-
6	Planos proyectos de renovación	Formato papel	Proyecto de renovación de la climatización de la zona de despachos	Centro experimental de refrigeración y	2005

id	Información adquirida	Tipo de documento	Nombre proyecto	Nombre autor	Año
				climatización (CER&C)	
	Planos proyectos de renovación	Formato papel	Proyecto de renovación de la climatización de la planta 1	Oscar Ribé Torijano	2016

Tabla 6. Información de partida

Dado que se disponía de diferentes fuentes de información, en alguna de ellas existían discrepancias por lo que se organizó una visita técnica con el responsable de mantenimiento del campus para realizar una verificación entre ellos y conocer qué plano es el más parecido a la realidad (ver 4.2.1 Visita técnica TR5).

4.2.1 Visita técnica TR5

El pasado 26 de abril se realizó una visita técnica con el responsable del servicio de obras y mantenimiento del campus de Terrassa para poder acceder a sitios normalmente restringidos para personal no autorizado.

La primera zona que se visitó fue la azotea del edificio donde se encontraba la maquina enfriadora de aire (Figura 19), la climatizadora de la tercera planta (Figura 20) y el circuito intercambiador de temperatura (Figura 21).



Figura 19. Enfriadora en azotea



Figura 20. Unidad tratamiento de aire



Figura 21. Circuito intercambiador de temperatura

Las maquinas mostradas en las imágenes anteriores son las encargadas de la climatización centralizada de toda la tercera planta. Paralelamente, cada despacho o aula, tiene un regulador individual de temperatura.

Después de una breve explicación de por donde pasaban los conductos y circuitos, nos desplazamos hasta la ubicación de algunas de las unidades de climatización exteriores, tal y como se aprecia en la siguiente figura:



Figura 22. Equipos exteriores de climatización

Cada uno de los equipos dispone de una etiqueta con una referencia de uso interno, que coincide con el inventario y los planos As-built.



Figura 23. Etiqueta del equipo para uso interno

Posteriormente, se visitó la sala de calderas y depósito de aguas, situada en la planta baja y en el sótano. En la sala contigua, se encuentra el depósito de aguas, una escalera que bajan al sótano y una sala con cuadros eléctricos (no visitada). Bajando por dichas escaleras, a mano derecha encontramos el pasillo principal que conecta todo el edificio y a mano izquierda, la sala de calderas, con una superficie de 52,14 m².

En la sala de calderas, encontramos dos calderas para la calefacción del edificio, tal y como se aprecia en la siguiente figura:



Figura 24. Calderas TR5

Podemos apreciar que la información obtenida a través de los esquemas as-built (anexo I.I) no es del todo completa ni correcta puesto que, según las imágenes que se han ido mostrando, se puede comprobar que existen muchos más elementos, destacando las tuberías de conexionado.

Una vez fuera de la sala, se accedió a la parte inferior del pasillo central de la universidad. Por ahí pasan los conductos que alimentan las vías para las mangueras de extinción de incendios. A través del pasillo y llegando justo en el medio, se encuentra el punto común de conexión para las vías que alimentan las mangueras donde conectan con dos depósitos (uno de uso normal en caso de incendio y otro por seguridad). Se desconoce la ubicación y capacidad de dichos depósitos. Las tuberías principales que van hacia la última planta y pasando por las centrales se encuentran en los extremos del pasillo, por lo que hay dos montantes principales.



Figura 25. Parte inferior del pasillo central de la universidad (sótano)

Más adelante, accedemos a la tercera planta para salir a la terraza que hay al final del pasillo en dirección este. Ahí, se ubican más equipos exteriores de climatización todos referenciados con su código para uso interno. Todos estos equipos exteriores alimentan muchos equipos internos distribuidos por todo el edificio,

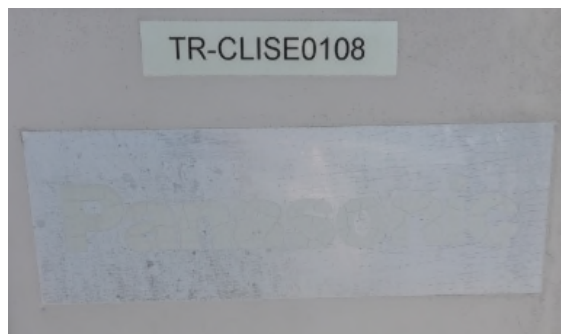


Figura 26. Equipos climatización terraza planta 3

También, se aprovechó para efectuar fotografías de algunas de las placas de los equipos (ver Figura 27) aunque se ha encontrado algún caso que la placa era totalmente ilegible (Figura 28).



*Figura 27. Placa característica equipo
TR-CLISE0105*



*Figura 28. Placa ilegible equipo TR-
CLISE0108*

Teniendo en cuenta todas las fotografías y los conocimientos adquiridos, la visita técnica con el responsable de mantenimiento ha servido sobre todo para ver los equipos de cerca y comprobar que nivel de fidelidad tienen los planos con la realidad.

5 Requerimientos LOD de instalaciones

Para definir el nivel de detalle de los elementos a modelar, se ha considerado el estudio realizado por Alavi y Forcada (2019) donde, dependiendo del equipo se definen diferentes LOD.

Alavi y Forcada (2019) utilizan el sistema estándar UNIFORMAT II (NISTIR 1999). En la siguiente tabla se muestra el nombre de cada elemento del sistema de climatización relacionada con la Tabla 2. Niveles estandarizados de UNIFORMAT II

Difusores
Rejillas
Válvulas
Unidades interiores
Unidades exteriores
Unidad de tratamiento de aire
Enfriadora
Conductos
Tuberías

Tabla 7. Elementos del sistema de climatización según UNIFORMAT II

Para el propósito del presente trabajo, los parámetros a tener en cuenta de cada elemento relacionados con el sistema de ventilación y climatización (Tabla 7) se muestran en las siguientes tablas:

D30 Difusor	D30 Rejillas	D30 Válvula
Terminal Type	Terminal Type	Flow Coefficient
Airflow Rate Range	Airflow Rate Range	Valve Mechanism
Has Fan	Has Fan	Input code
Has Return Air	Has Return Air	Output code
Has Sound Attenuator	Has Sound Attenuator	Manufacturer
Reheat Type	Reheat Type	Room Name
Airflow Curve	Airflow Curve	Room Number
Atmospheric Pressure	Atmospheric Pressure	Model (Maker Name)
Damper Position	Damper Position	Acquisition date
Sound Rating	Sound Rating	Serial number
Price	Price	Mean time between failure
Material	Material	Service life duration
Assessment date	Assessment date	Warranty content text
Assessment condition	Assessment condition	Warranty end date
Manufacturer	Manufacturer	Warranty identifier
Room Name	Room Name	Warranty period
Room Number	Room Number	Warranty start date
Model (Maker Name)	Model (Maker Name)	
Acquisition date	Acquisition date	
Serial number	Serial number	

D30 Difusor	D30 Rejillas	D30 Vlvula
Mean time between failure	Mean time between failure	
Service life duration	Service life duration	
Warranty content text	Warranty content text	
Warranty end date	Warranty end date	
Warranty identifier	Warranty identifier	
Warranty period	Warranty period	
Warranty start date	Warranty start date	

Tabla 8. Parámetros para difusores, rejillas de ventilación y válvulas

Los parámetros de los difusores y de las rejillas son exactamente los mismos pues se consideran que estn dentro de la misma familia (elementos terminales).

D30 Unidad interior Tipo <i>split</i>	D30 Unidad exterior	D30 Unidad interior Tipo <i>cassette</i>
Tag Name	Tag Name	Tag Name
Outdoor Unit	Indoor Unit	Outdoor Unit
Assessment Condition	Assessment Condition	Assessment Condition
Assessment Date	Assessment Date	Assessment Date
Capacity Rated (Kw)	Refrigerant type	Max flow
Power Consumption Rated	Air Flow Rate	Temperature exchange eff
COP Rated	Fan type	Fan-Air flow rate
Air Flow Rate	Fan power consumption	Air filter
Fan Type	Manufacturer	Power supply
Air Filter	Room Name	Manufacturer
Cooling Efficiency	Room Number	Room Name
Heating Capacity	Model (Maker Name)	Room Number
Heating Efficiency	Acquisition date	Model (Maker Name)
Manufacturer	Serial number	Acquisition date
Room Name	Mean time between failure	Serial number
Room Number	Service life duration	Mean time between failure
Model (Maker Name)	Warranty content text	Service life duration
Acquisition date	Warranty end date	Warranty content text
Serial number	Warranty identifier	Warranty end date
Mean time between failure	Warranty period	Warranty identifier
Service life duration	Warranty start date	Warranty period
Warranty content text		Warranty start date
Warranty end date		
Warranty identifier		
Warranty period		
Warranty start date		

Tabla 9. Parámetros para unidades interiores y exteriores

Existen dos tipos diferentes de unidades interiores de aires acondicionados (tipo *split* y tipo *cassette*) por lo que sus parámetros también tienen aspectos diferentes.

D30 Unidad de tratamiento de aire	D30 Enfriadora
Tag Name	Chiller Type
Assessment Condition	Capacity Curve
Assessment Date	COP Curve
Price	Nominal Capacity
Power	Nominal Efficiency
Air Flow Rate	Energy Efficiency Ratio
Efficiency	Tag name
Manufacturer	Assessment Condition
Room Name	Assessment Date
Room Number	Price
Model (Maker Name)	Flow
Acquisition date	Manufacturer
Serial number	Room Name
Mean time between failure	Room Number
Service life duration	Model (Maker Name)
Warranty content text	Acquisition date
Warranty end date	Serial number
Warranty identifier	Mean time between failure
Warranty period	Service life duration
Warranty start date	Warranty content text
	Warranty end date
	Warranty identifier
	Warranty period
	Warranty start date

Tabla 10. Parámetros para unidad de tratamiento de aire y enfriadora

La unidad de tratamiento de aire y la enfriadora se ubican en la azotea de la universidad y son las encargadas de la climatización de la tercera planta.

Por último, se muestran los parámetros de los conductos y de las tuberías de la instalación:

D30 Conducto	D30 Tubería
Atmospheric Pressure	Flow
Material	Pressure
Type	Material
Manufacturer	Manufacturer
Room Name	Room Name

D30 Conducto	D30 Tubería
Room Number	Room Number
Model (Maker Name)	Model (Maker Name)
Acquisition date	Acquisition date
Serial number	Serial number
Mean time between failure	Mean time between failure
Service life duration	Service life duration
Warranty content text	Warranty content text
Warranty end date	Warranty end date
Warranty identifier	Warranty identifier
Warranty period	Warranty period
Warranty start date	Warranty start date

Tabla 11. Parámetros para conductos y tuberías

Los parámetros de los conductos y de las tuberías son muy parecidos ya que solo varían dos de los 16 parámetros. Esto es debido a que la información que se precisa es muy detallada en los dos elementos.

Todos los parámetros de los elementos se encuentran adjuntos en el anejo III.

Con todos los parámetros introducidos en Revit, se efectúa una búsqueda para obtener toda la información requerida. En el apartado 7 Nivel de fidelidad se aprecia los resultados relacionados con el nivel de detalle entre el edificio y el modelo digital.

Todos los equipos, dependiendo del sistema y del elemento, tienen unos parámetros interesantes según el nivel de detalle que se estime (referenciando el punto 3 de la Tabla 6 y gracias al estudio realizado por Alavi y Forcada (2019)).

Todos los parámetros necesarios de todos los elementos se han introducido manualmente en Revit para después personalizarlo y elegir las propiedades adecuadas para cada elemento.

A continuación, se muestra, en el caso de los difusores, que todos los parámetros aparecen en la ventana de propiedades.

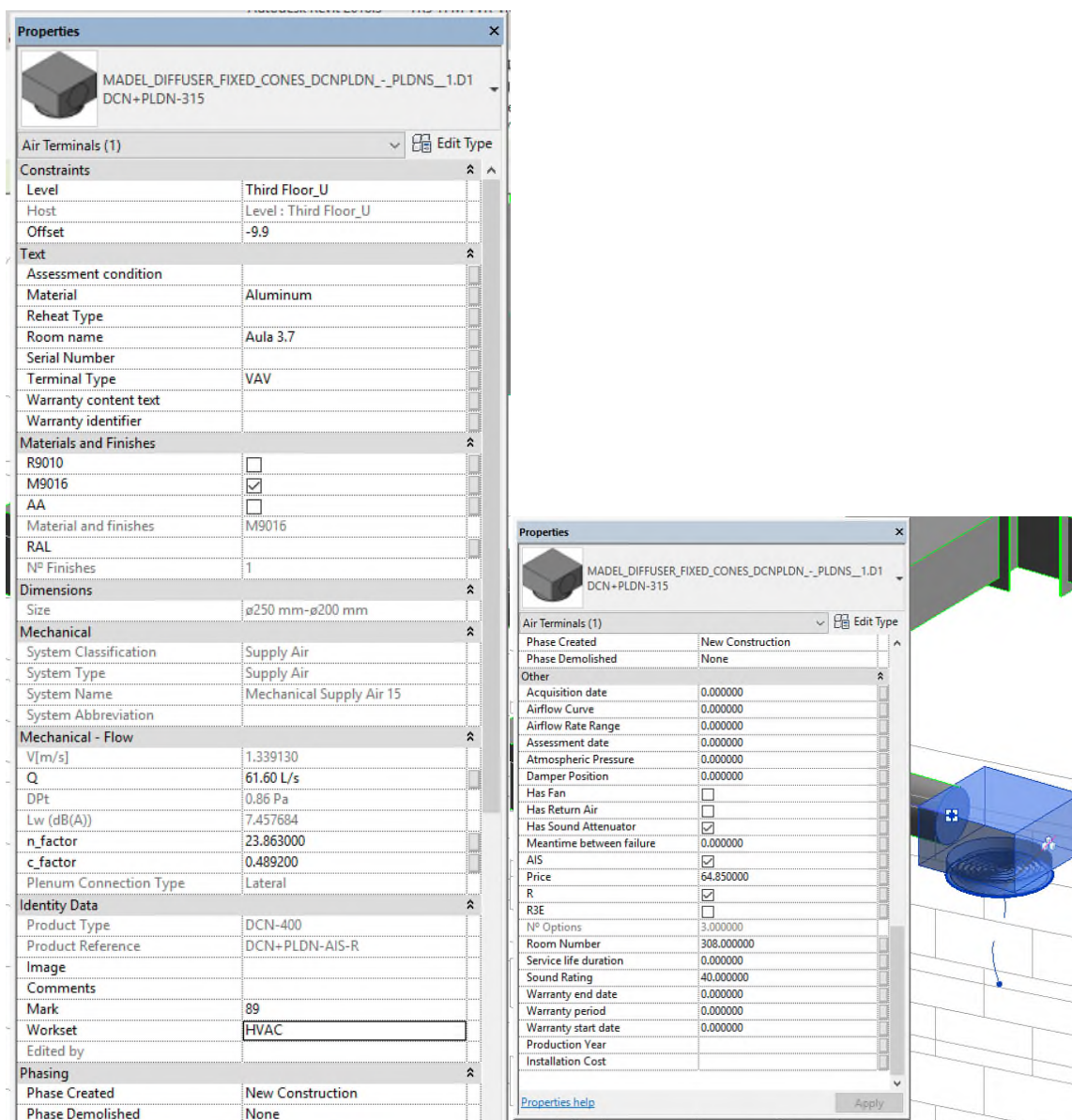


Figura 29. Parámetros introducidos en Revit para los difusores de aire según la Tabla 8.

Donde se ha podido completar la información en el material, nombre del aula, tipo de terminal, tamaño, sistema, Q (flujo), identidad, no tiene ventilador, no tiene aire de retorno, tiene atenuador sonoro, precio, número del aula y nivel sonoro máximo (dBA).

Al incorporar los distintos parámetros en Revit, hay que tener especial atención en el tipo de parámetro que es pues es necesario seleccionar si es texto, numérico o lógico ya que, una vez creado, no se puede modificar sin previamente eliminarlo. A continuación, se muestra la relación que comparte el parámetro con su tipo de los elementos terminales (difusores y rejillas).

Parámetro	Tipo	Parámetro	Tipo
Terminal Type	Text	Sound Rating	Numeric
Airflow Rate Range	Numeric	Model (Maker Name)	Text
Has Fan	Logic	Price	Numeric
Has Return Air	Logic	Material	Text
Has Sound Attenuator	Logic	Room Number	Numeric
Reheat Type	Text	Room name	Text
Airflow Curve	Numeric	Acquisition date	Numeric
Atmospheric Pressure	Numeric	Assessment date	Numeric
Damper Position	Numeric	Assessment condition	Numeric

Tabla 12. Parámetros necesarios de difusores y rejillas según estudio (Alavi y Forcada 2019)

6 Modelado instalación de ventilación y climatización

En primer instante, se propuso implementar el modelado de la instalación eléctrica ya que el nivel de detalle de los planos As-built era suficientemente alto para su realización, pero, por ejemplo, el conexionado de cables no aparece. Se planteó la idea de usar una cámara termográfica (IRT, Infrared Thermography) para la lectura de calor que desprende el cable, pero los que alimentan las cargas finales (luminarias, interruptores o enchufes, entre otros) no van a temperatura suficiente para que la cámara sea capaz de captarlo por lo que se decidió descartar la idea de usar la IRT y centrarse en el modelaje de las instalaciones de ventilación y climatización.

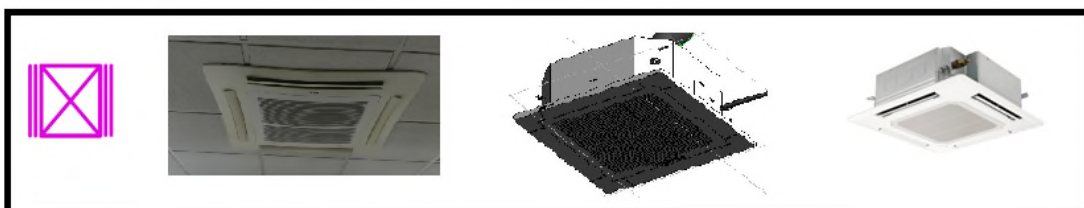
Para poder modelar lo distintos elementos que participan en la instalación, se ha realizado distintas tareas para la obtención de la información de los equipos a modelar. En caso de no poder obtener la información, se realizará una comprobación visual a la universidad teniendo en cuenta que las visitas a campo sean las mínimas imprescindibles. En caso de no poder conocer la información necesaria (por ejemplo, el circuito de tuberías o conductos), se formalizará unas hipótesis y suposiciones teniendo un nivel bajo con la realidad.

Con el inventario de Archibus, el primer paso ha sido la búsqueda de las fichas técnicas de los equipos para obtener todas las características y parámetros necesarios. Ha existido algún caso que, aun teniendo la referencia exacta del equipo, no se han encontrado su ficha técnica ya que éste quedaba obsoleto y no se comercializa con él. A continuación, se procedió a buscar, a través de la página oficial del fabricante, los elementos en Revit para respetar al máximo el nivel de detalle, pero se obtuvieron muy pocos resultados y ninguno de ellos servía pues la familia estaba incompleta y se tenían que plasmar algunas modificaciones. Revit, al ser un programa nuevo y no tener experiencia para el usuario, se decidió no usar ninguna de las familias descargadas por lo que se usó un equipo que tuviera el máximo detalle posible y a continuación incorporar los parámetros correctos.

Ya que se descargó una familia de la página oficial del fabricante, ésta contenía muchísima información sin interés por lo que se quiso eliminar todos los parámetros mediante un plug-in de Revit llamado *PyRevit* pero se descartó por falta de tiempo. Todos los parámetros que contiene el estudio (Alavi y Forcada 2019) se han incorporado en las familias pertinentes y se han completados los que se tiene información.

Finalmente, de todos los distintos modelos y fabricantes de los equipos de climatización del TR5, los equipos interiores se han resumido en dos tipos distintos mientras que los equipos exteriores, se han resumido en tres. En las siguientes imágenes se muestran todos los ejemplos del proyecto, teniendo en cuenta los planos As-built, imágenes de la misma universidad, modelo en Revit y equipo real.

Las siguientes imágenes están compuestas de un mismo elemento con diferente simbología, dependiendo de dónde se ha adquirido la información. Se presentan de izquierda a derecha: #id2 de la Tabla 6, fotografía real, modelo Revit y datasheet del fabricante.



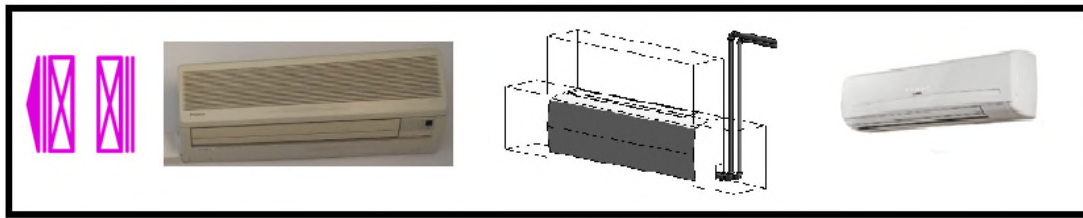


Figura 30. Equipos interiores.

Arriba: tipo cassette. Abajo: tipo split

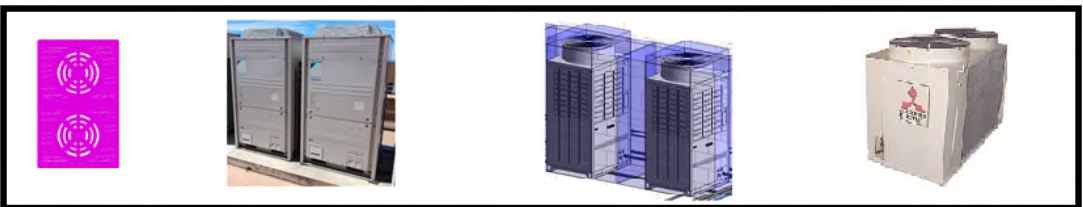
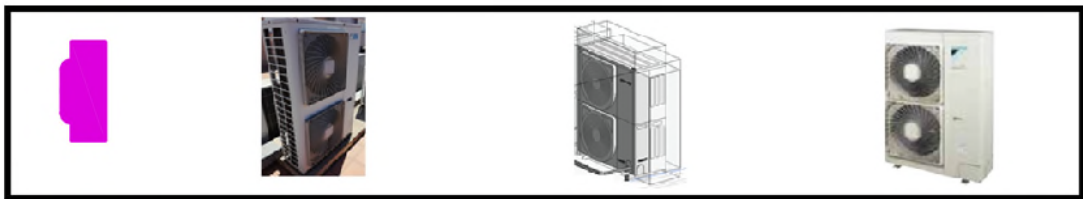
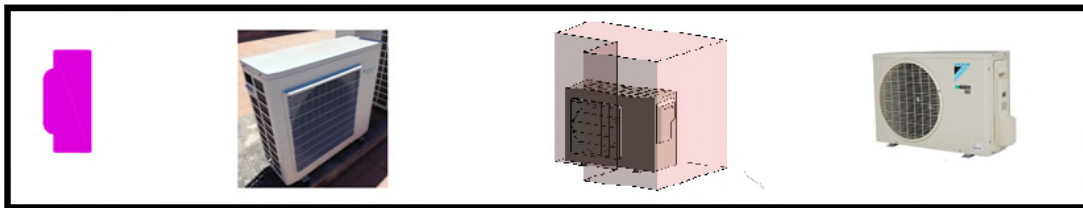


Figura 31. Equipos exteriores

Ya con todos los equipos de climatización disponibles, el siguiente paso a efectuar ha sido la obtención de familias que participan en la instalación, así como tuberías y conductos, junto con sus elementos de conexión (conexión en T, codos, ampliaciones y reducciones de tamaño, ramales, etc). Al no tener ninguna familia incorporada en el modelo de arquitectura, primeramente, se intentó crear todos los elementos, pero, después de dedicarle un tiempo importante, se llegó a la conclusión de que era mejor obtenerlo por otros medios.

En la siguiente figura se puede apreciar cuatro detalles distintos: el primero de ellos, es un ramal del conducto principal a un equipo *cassette* donde su conexión se realiza mediante conducto flexible (Ribé 2006). El segundo detalle que se aprecia es el aumento del tamaño del conducto principal. El número 3 representa la conexión entre el conducto principal y la conexión de un conjunto de tres equipos tipo *cassette*. Por último, se detalla la diferencia de tamaño respecto al número 1 (70x50 cm² a 80x50 cm²). La Figura 33 representa el mismo tramo pero con la información de Ribé (2006).

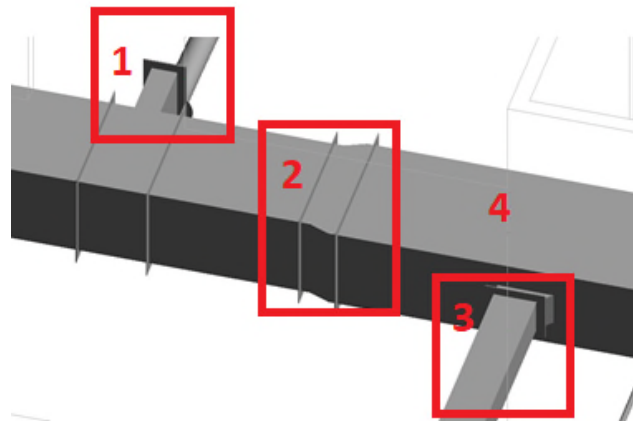


Figura 32. Detalle conducto principal (modelo Revit)

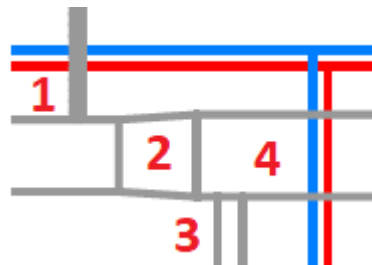


Figura 33. Tramo equivalente a la Figura 32 teniendo en cuenta el plano (Ribé 2006)

Con el estudio de Ribé (2006), se ha podido modelar todos los conductos con las características físicas adecuada. A continuación, se muestra una imagen donde se demuestra como incorporar el tamaño de los conductos:

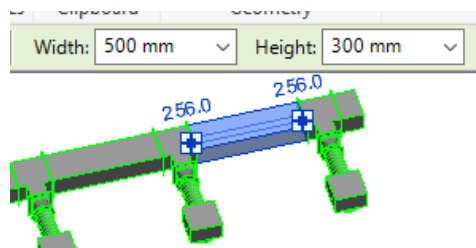


Figura 34. Detalle para personalizar el tamaño de los conductos

La Figura 35 representa las tuberías principales ubicadas en el falso techo del pasillo de la tercera planta. Por un lado, en el número 1, obtenemos un elemento en forma de T que facilita el conexionado de ramales. Por otro lado, en el número 2, se observa el elemento para reducir/ampliar el tamaño de las tuberías.

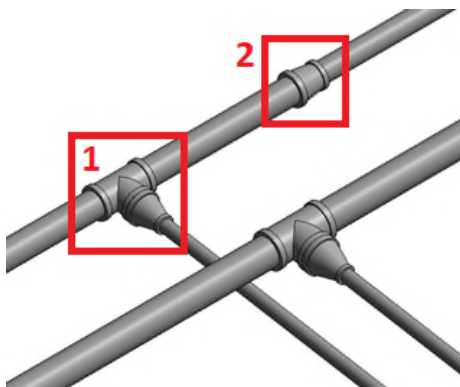


Figura 35. Detalle tuberías principales (modelo Revit)

Como en el caso anterior, la información del diámetro de las tuberías ha sido obtenida con el estudio de Ribé (2006) y en la siguiente figura se muestra, en Revit, la manera de introducir el diámetro específico para cada tramo:

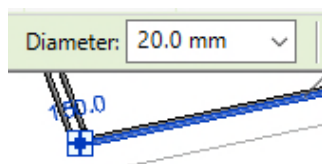


Figura 36. Detalle para personalizar el tamaño de las tuberías

Se ha modelado al detalle la instalación de todos los equipos de climatización, así como las tuberías de conexionado. El equipo exterior TR-CLISE0102 se sitúa bajo las escaleras principales de acceso al edificio, tal y como muestran las siguientes imágenes.

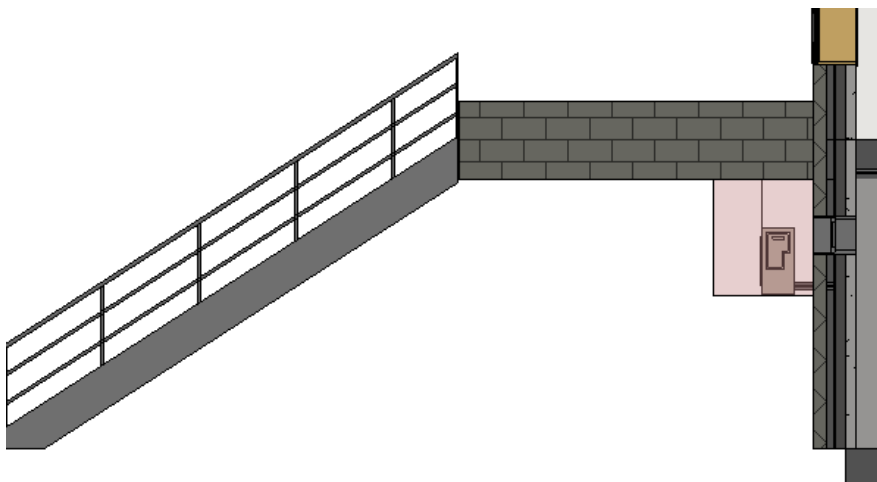


Figura 37. Equipo TR-CLISE0102 (Vista Revit)

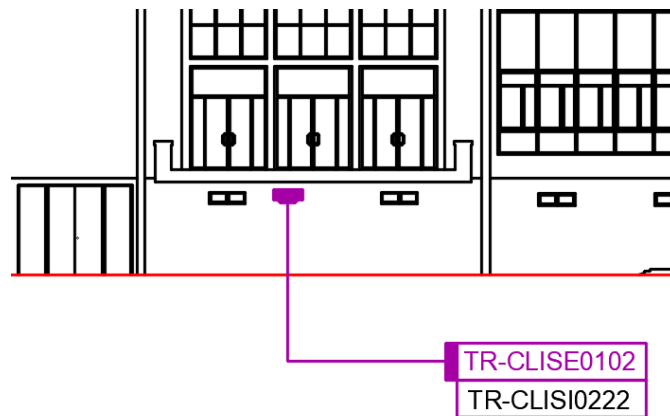


Figura 38. Equipo TR-CLISE0102 (Vista planos As-built)

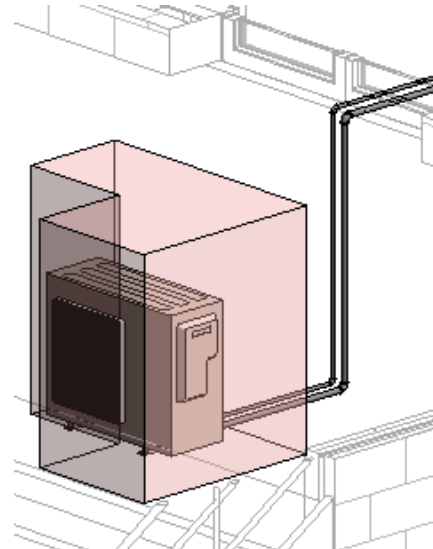


Figura 39. Equipo TR-CLISE0102.

Izda: Vista real. Dcha: Modelo Revit

Todos los equipos de climatización tienen un pequeño montante para ubicar las tuberías en el falso techo de la planta. En las vistas en planta no se puede apreciar por lo que se detalla en la Figura 41.

Al no tener información del conexionado entre el equipo exterior TR-CLISE0102 y el equipo interior TR-CLISI0222 se ha efectuado una hipótesis por donde puede pasar. El sótano solo contiene tres unidades interiores representadas en la siguiente figura

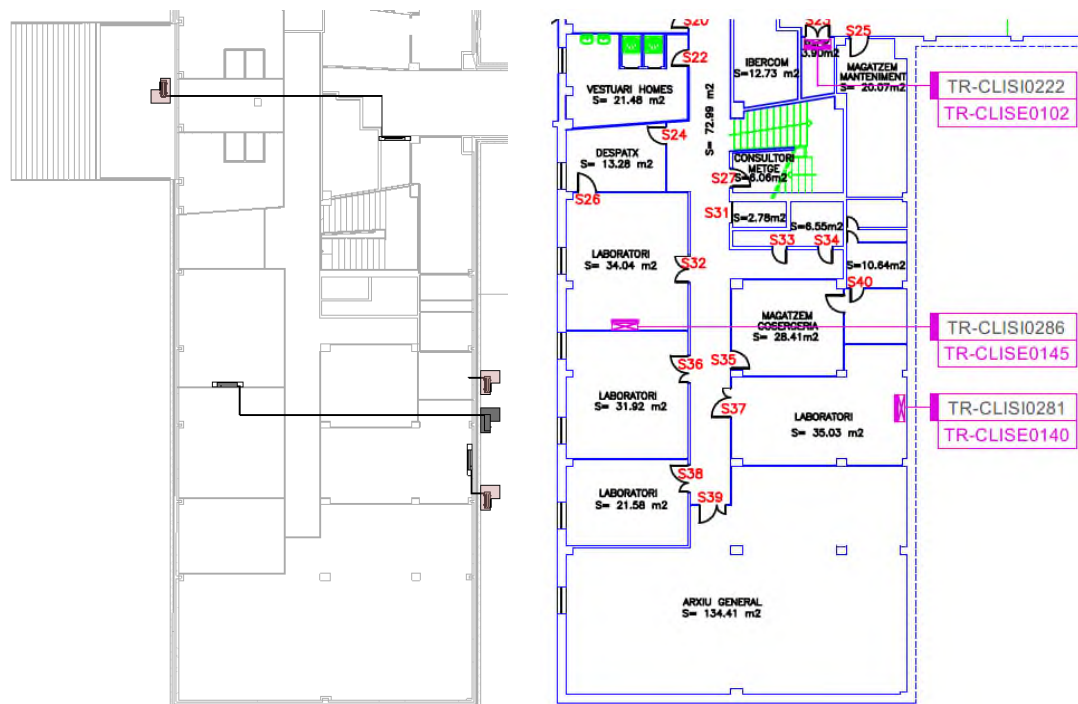


Figura 40. Sistema ventilación y climatización planta sótano. Izda: Modelo Revit. Dcha: Planos As-built

El modelo arquitectónico dispone de falso techo por lo que todas las conexiones se ubican en él. La siguiente figura muestra distintos equipos de climatización, ya sean tipo *cassette* o tipo *split*, junto con sus conexiones a los equipos exteriores ubicados en azotea o fachada. Se usan distintos niveles de montaje de tal manera se evita posibles conflictos entre tuberías. Cada unidad contiene dos tuberías pues es un circuito cerrado por donde circula el líquido refrigerante.

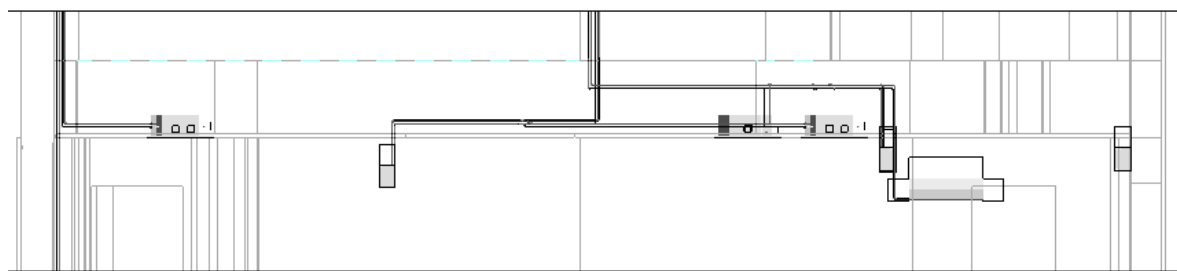


Figura 41. Perfil falso techo

La planta principal está formada por 17 equipos de climatización y 6 equipos tipo *cassette*. En primera instancia, al no disponer de información sobre el conexionado de tuberías, se había modelado el circuito de modo más óptimo posible, realizando una hipótesis. En la figura posterior se muestra la parte izquierda de la universidad en formato Revit y plano As-built.

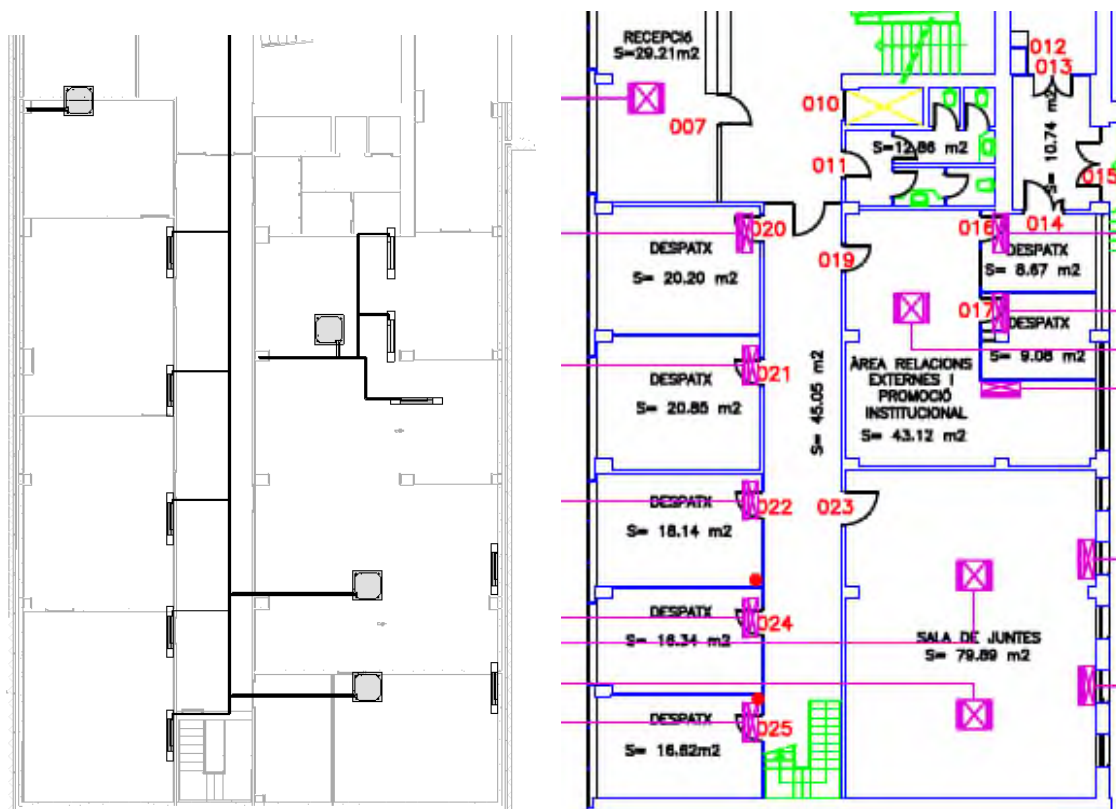
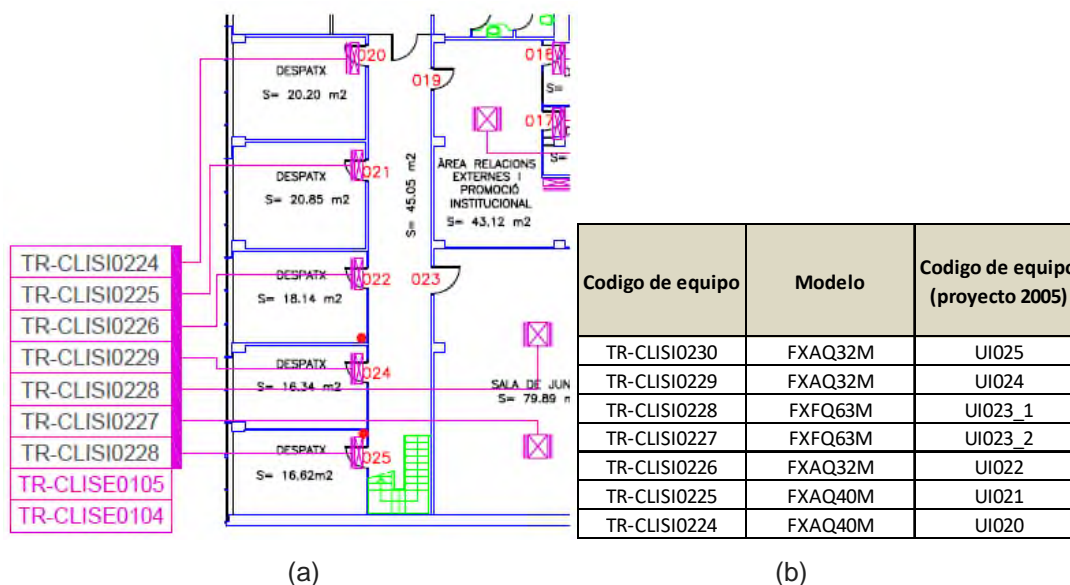
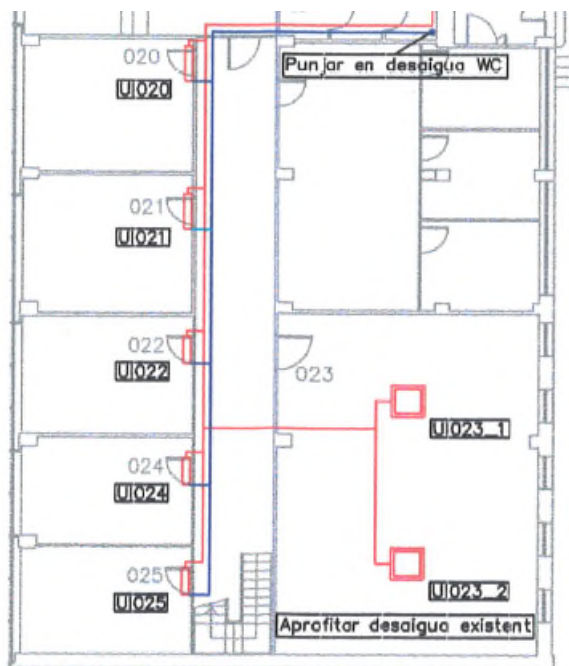


Figura 42. Modelado climatización planta principal (parte este de la universidad).

Izda: Modelo Revit. Dcha: Planos As-built

Aunque la información recibida se ha obtenido de dos maneras distintas, se ha comprobado que marca y modelo de los equipos instalados coinciden. Tal y como se aprecia a continuación, la parte superior de la siguiente figura hace referencia a los planos As-built e inventario (id 4 y 5 de la Tabla 6) mientras que la parte inferior es la información que se obtuvo a finales de julio (ver anejo I.II).





(c)

Equip	Model	Pfrig (W)
UI020	FXAQ40M	4500
UI021	FXAQ40M	4500
UI022	FXAQ32M	3600
UI023_1	FXFQ63M	7100
UI023_2	FXFQ63M	7100
UI024	FXAQ32M	3600
UI025	FXAQ32M	3600

(d)

Figura 43. Comparación de información entre proyectos:

- (a) Códigos planos As-built
- (b) Códigos inventario + códigos de (d)
- (c) Nueva información obtenida del proyecto del 2005
- (d) Códigos, modelo y potencia del proyecto del 2005

Las dos unidades interiores (tipo *split*) de la sala de juntas (dentro de la sala de juntas en la Figura 42) no están formadas por unidades exteriores pues se tratan de unidades tipo ventana.



Figura 44 Aire acondicionado tipo ventana. Fuente: Google

unidad exterior se ubica en el lateral del edificio TR6, cerca de las escaleras exteriores, quedando fuera del alcance del presente proyecto. En el plano siguiente, facilitado por el servicio de obras y mantenimiento de la UPC, se muestra la ubicación del equipo exterior.

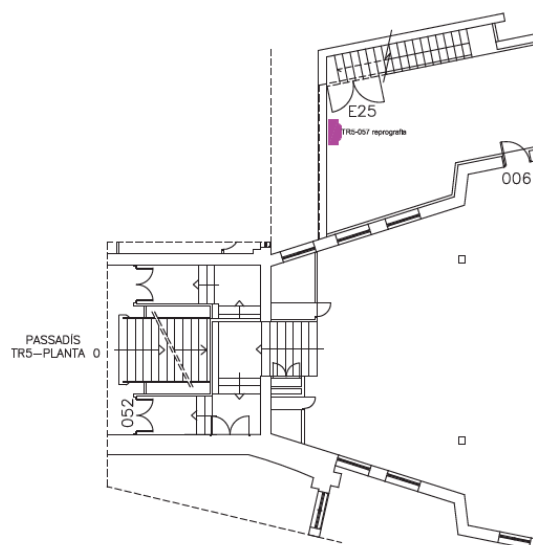


Figura 46. Ubicación equipo exterior de las unidades interiores del servicio de reprografía

La primera planta contiene 24 equipos interiores de climatización. En primera instancia, al no disponer de información sobre el conexionado de tuberías, se había modelado el circuito de modo más óptimo posible, realizando una hipótesis. En la figura posterior se muestra la parte izquierda de la universidad según plano As-built y en formato Revit.

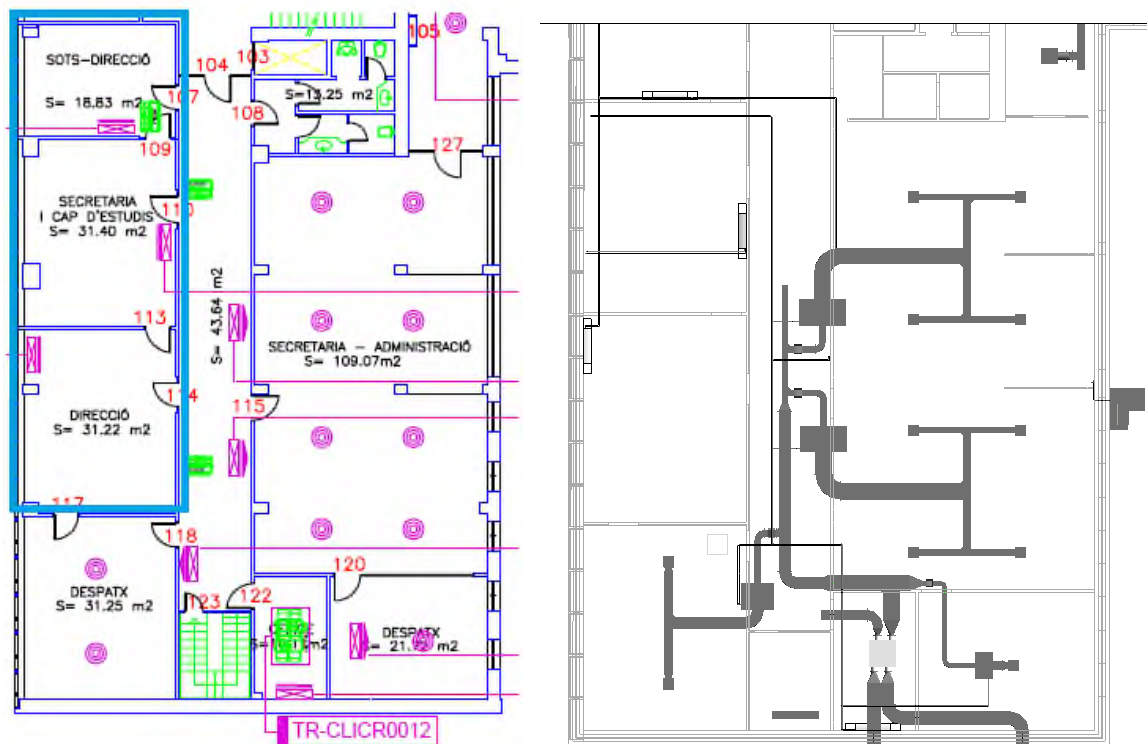


Figura 47. Modelado climatización primera planta (parte izquierda de la universidad)

Izda: Planos As-built. Dcha: Modelo Revit

Se ha efectuado una comprobación visual de las dos rejillas ubicadas en la oficina y en el despacho. Una de ella se usa para impulsar el aire fresco hacia dentro de la universidad mientras que la otra se usa para retornar el aire hacia el exterior (ver Figura 49)



Figura 48. Rejillas de ventilación de la primera planta

Con la información obtenida del proyecto de remodelación de la instalación en 2016 (anexo I.III), se concedió una pequeña reunión con el responsable del servicio de obras y mantenimiento para efectuar unas cuestiones sobre los planos que se han ido obteniendo.

Explicó que la parte interior del recuadro rojo de la siguiente figura, quedó exenta del proyecto de renovación pues el presupuesto no era suficiente para la renovación de toda la planta. En cambio, el área seleccionada con el recuadro azul sí que se ejecutó.

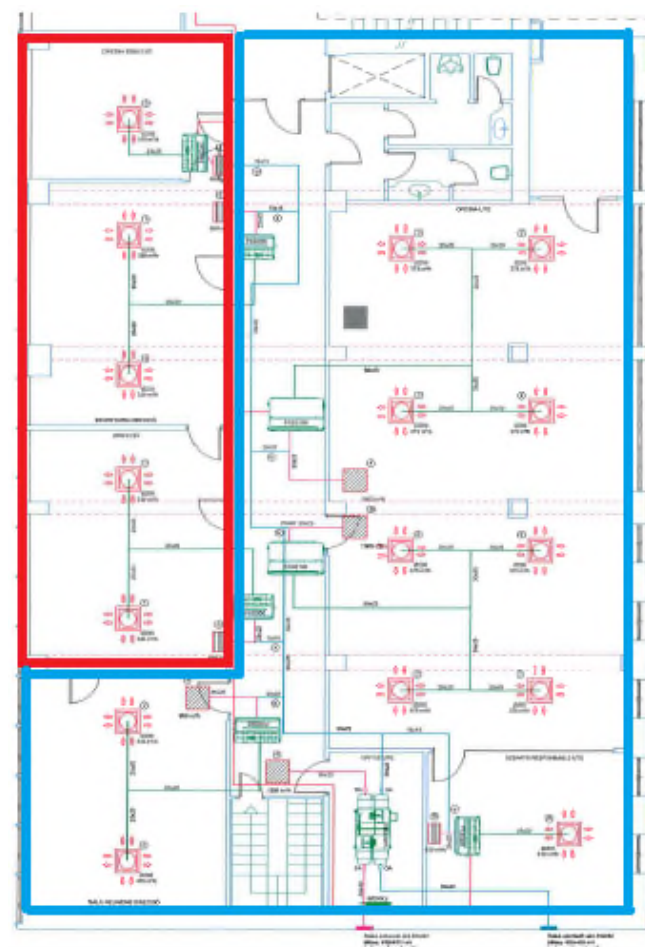


Figura 49. Renovación climatización de la planta 1 (anejo I.III)

Así pues, a fecha vigente, no hay un plano definitivo con la instalación actual de la universidad si no que se tiene que tener en cuenta la instalación de los recuadros azules de las Figura 47 y Figura 49, que es exactamente como se ha realizado el modelado en BIM.

El funcionamiento del sistema se puede ver identificado en la siguiente figura. La máquina principal absorbe aire del exterior donde ejecuta un pre-tratado de aire y enfría/calienta el aire aproximadamente a la temperatura deseada (de ésta manera se consigue un importante ahorro energético). A continuación, el aire pre-tratado llega a las máquinas interiores (ubicadas en el falso techo del pasillo) donde se acaba de tratar el aire obteniendo la temperatura deseada. Finalmente, los difusores ubicados dentro de los despachos, son los encargados de impulsar el aire. Las rejillas, también ubicadas en los despachos, absorben el aire donde existe dos posibles caminos: reutilización del aire para volver a ser tratado o estación. Analizando con detalle el esquema (ver Figura 49) a primera vista se puede observar que no existe renovación de aire en los despachos. Después de preguntar al responsable de las instalaciones, explicó que parte del aire absorbido a través de las rejillas, se reaprovecha para volver a ser tratado mientras que el resto de aire se mantiene en el falso techo, actuando éste como un gran conducto. Finalmente, la máquina codificada con TR-CLICR0012 (Figura 47) absorbe el aire ubicado en el falso techo para extraerlo al exterior.

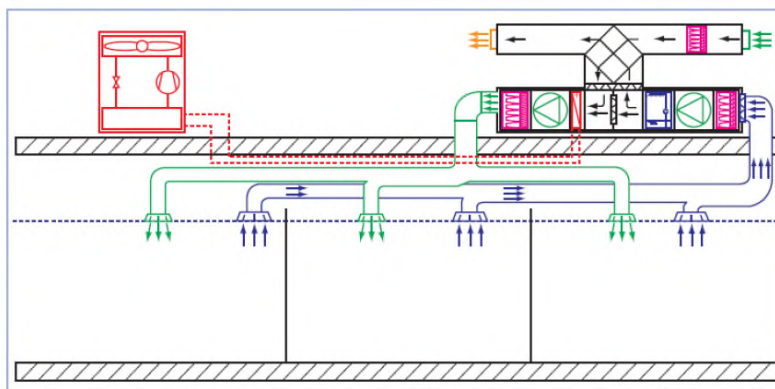


Figura 50. Explicación esquemática de la instalación

En la imagen anterior, el conducto azul representa el aire restante del falso techo. Faltaría por representar el aire que se reaprovecha y se conecta con los equipos interiores de tratamiento final de aire (conducto verde).

En el falso techo de la secretaria académica, según el modelo obtenido en Revit, existe un pequeño muro que separa la conexión de difusores mientras que en los planos de planta dicho muro es inexistente (ver anejo I.III). En la siguiente figura se puede apreciar perfectamente la diferencia. En la figura de la izquierda, se observa el plano en planta del servicio de mantenimiento. La figura de la derecha muestra la longitud total del muro del falso techo, obligando que el conexionado de aire sea a través de éste.

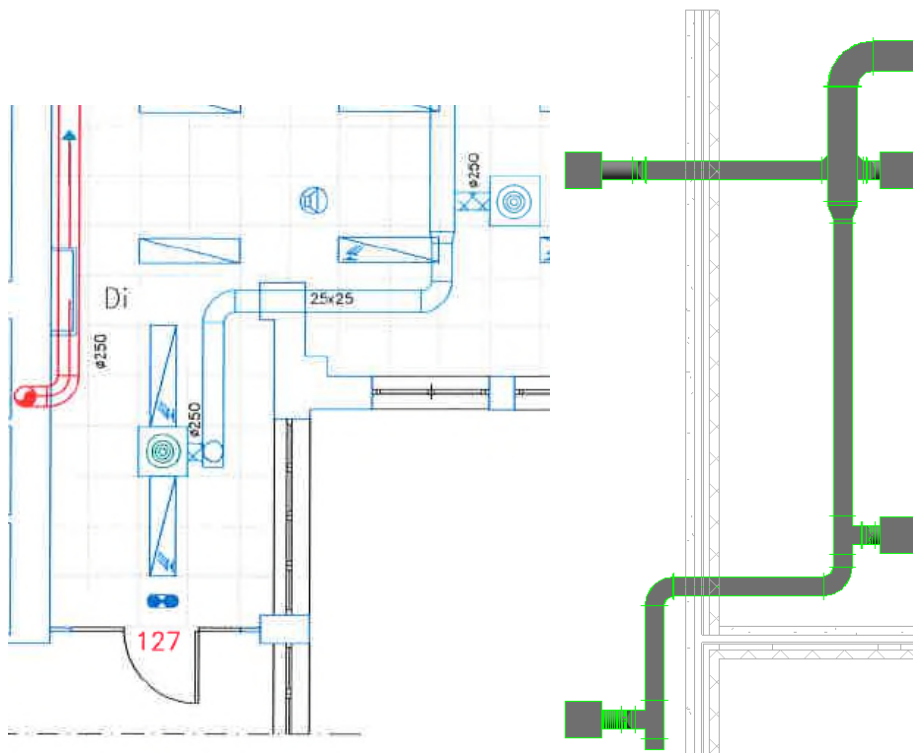


Figura 51. Izda: planta según plano. Dcha: modelo Revit

Al coincidir todos los planos (planos del servicio de mantenimiento y anejo I.IV), se puede llegar a la conclusión de que el muro no invade el falso techo y no impide un correcto conexionado de conductos.

El funcionamiento de la climatización de dicha sala es similar al explicado en las páginas anteriores. La temperatura deseada se obtiene a través del equipo interior donde posteriormente los difusores envían el aire en la sala. En éste caso, existen cuatro rejillas de retorno: el aire absorbido por dos de ellas se conduce al equipo interior a través de un conducto mientras que las otras dos absorben el aire y lo depositan en el falso techo. El equipo interior está conectado a un *plenum* de retorno con una rejilla extra que sirve para recuperar parte del aire depositado en el falso techo. La máquina exterior se ubica en la tercera planta.

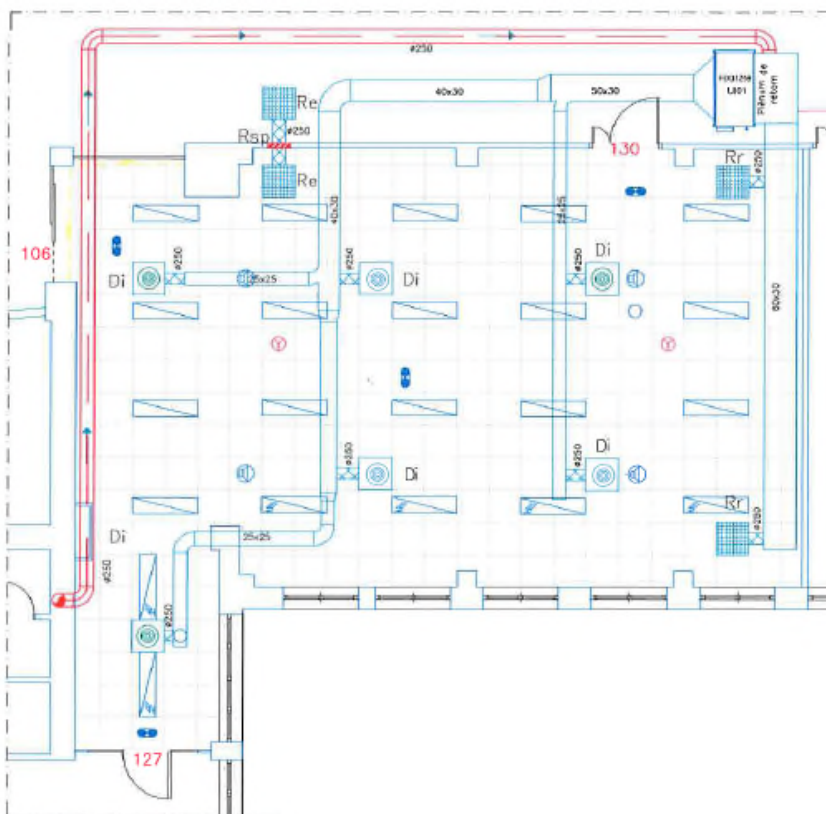


Figura 52. Sistema de climatización de secretaría académica

El refrigerante de la máquina (R-410A), sube hasta la segunda planta a través de un montante situado en un pequeño espacio de la sala de conferencias (recorrido hacia la derecha). Una vez en la segunda planta, recorre medio pasillo (hacia la izquierda) para buscar el montante que llega hasta la planta superior (Figura 53) (anexo I.II). No existe ningún plano que haga contraste con la explicación anterior ya que toda ésta información ha sido obtenida en la reunión con el responsable de mantenimiento.

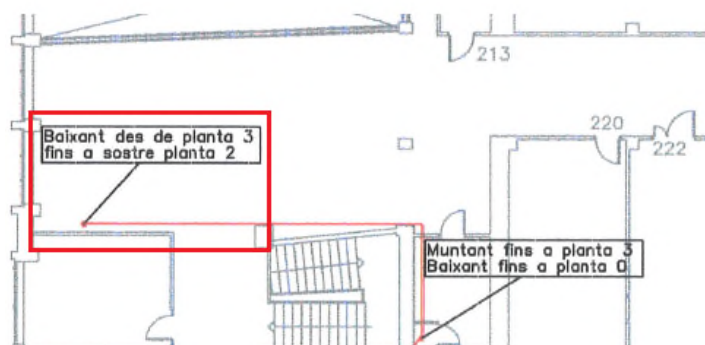


Figura 53. Montante de la segunda planta a la tercera planta

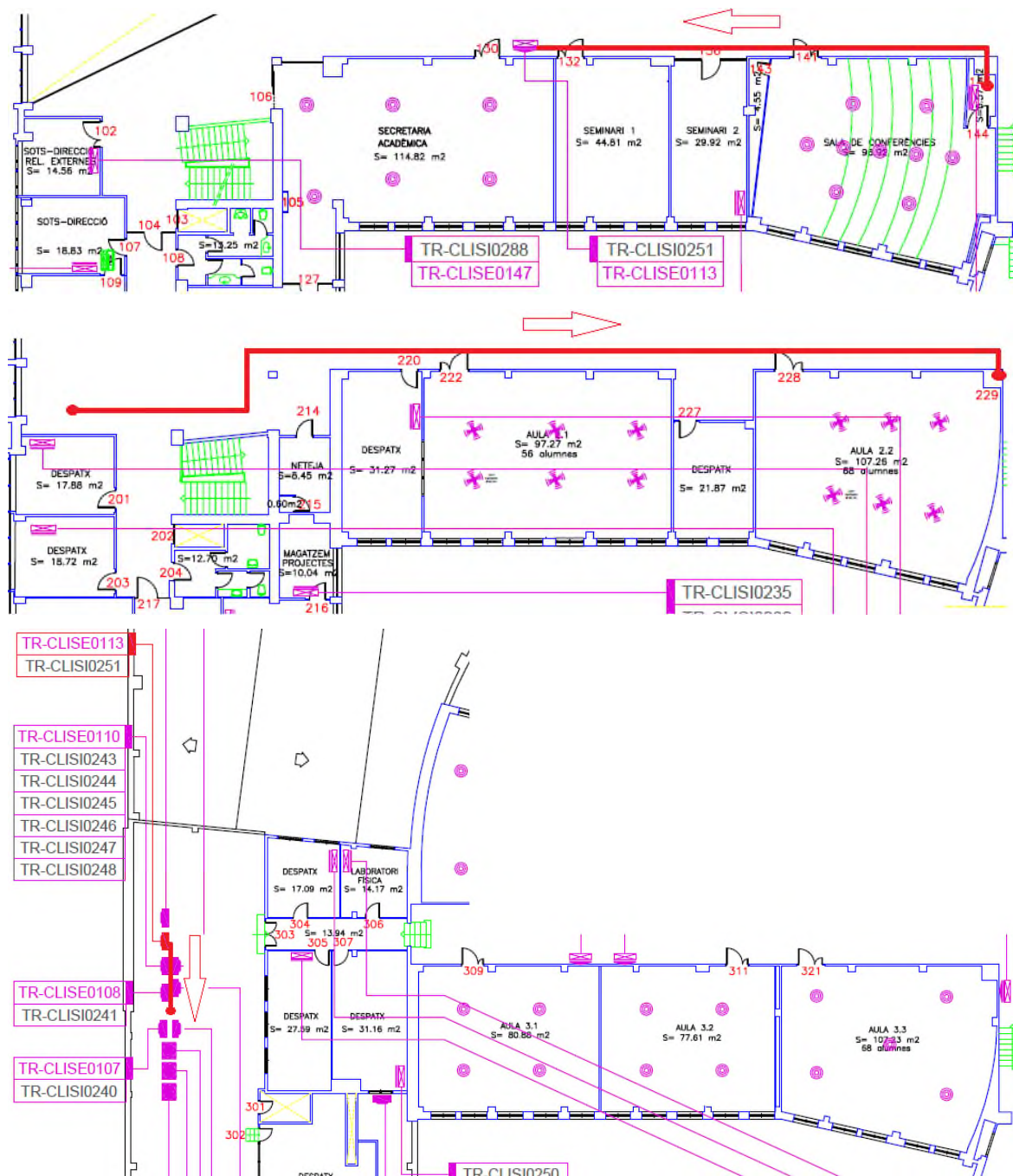


Figura 54. Circuito refrigerante R-410A

Arriba: planta 1. Central: planta 2. Abajo: planta 3

La parte central de la universidad de la primera planta tiene poca complejidad a la hora de modelar pues contiene equipos de aire acondicionado con sus unidades exteriores a la fachada más cercana (Figura 55).

Teniendo en cuenta la información obtenida por el servicio de obra y mantenimiento del campus (anexo I.I), la parte derecha de ésta planta no contiene ningún equipo de climatización por lo que no se muestra el modelado BIM.

La siguiente figura muestra la parte central de la planta 1, con los equipos de climatización interiores y exteriores junto con su conexión.

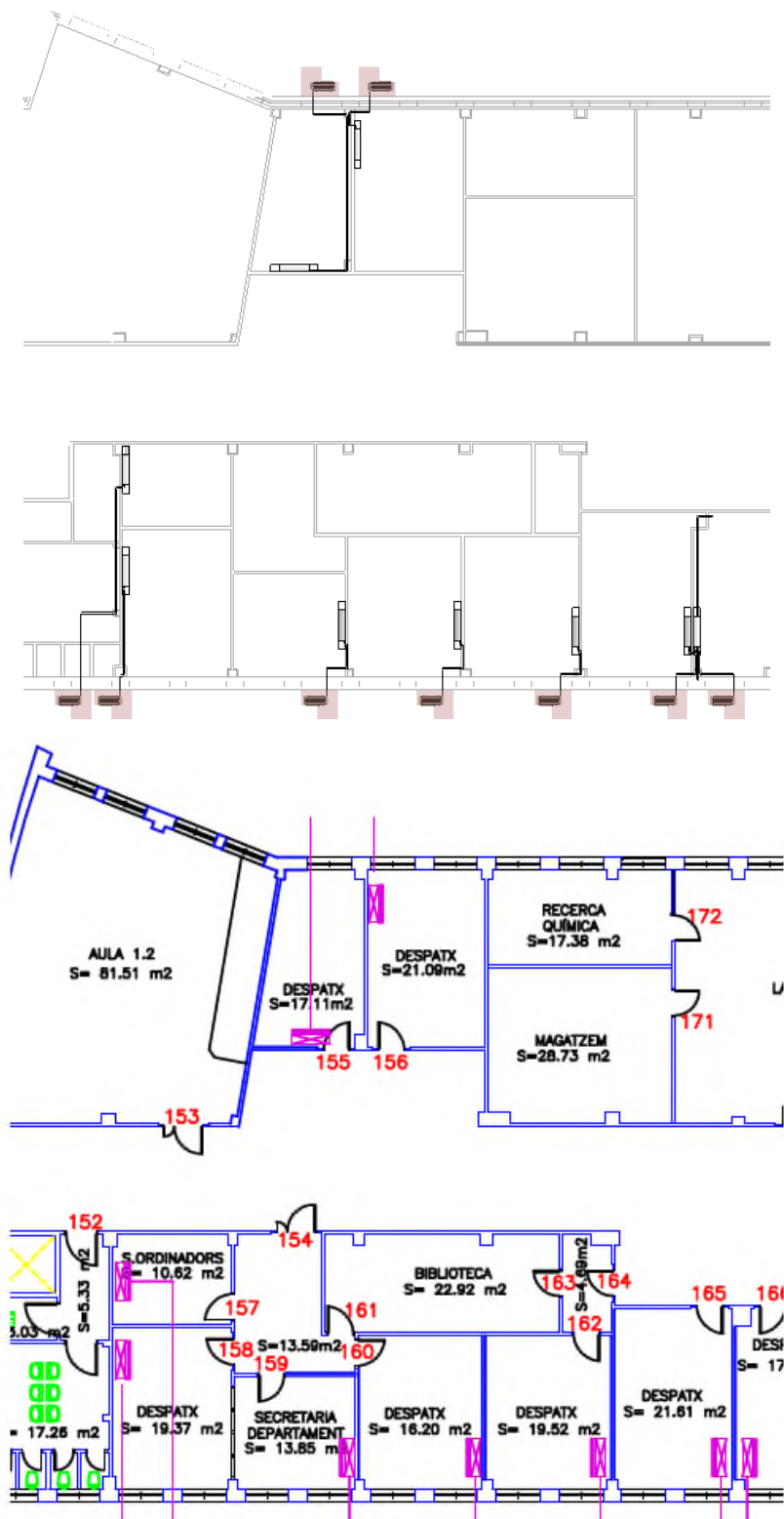


Figura 55. Modelado climatización primera planta (parte central de la universidad)

Arriba: Modelo Revit. Abajo: Planos As-built

Teniendo en cuenta la información obtenida por el servicio de obra y mantenimiento del campus (anexo I.I), la segunda planta está formada por 26 equipos de climatización, 1 equipo tipo *cassette* y 24 ventiladores. Inicialmente, al no disponer de información sobre el conexionado de tuberías, se había modelado el circuito de modo más óptimo posible, realizando una hipótesis. En la figura posterior se muestra la parte izquierda de la universidad en formato Revit y plano As-built.

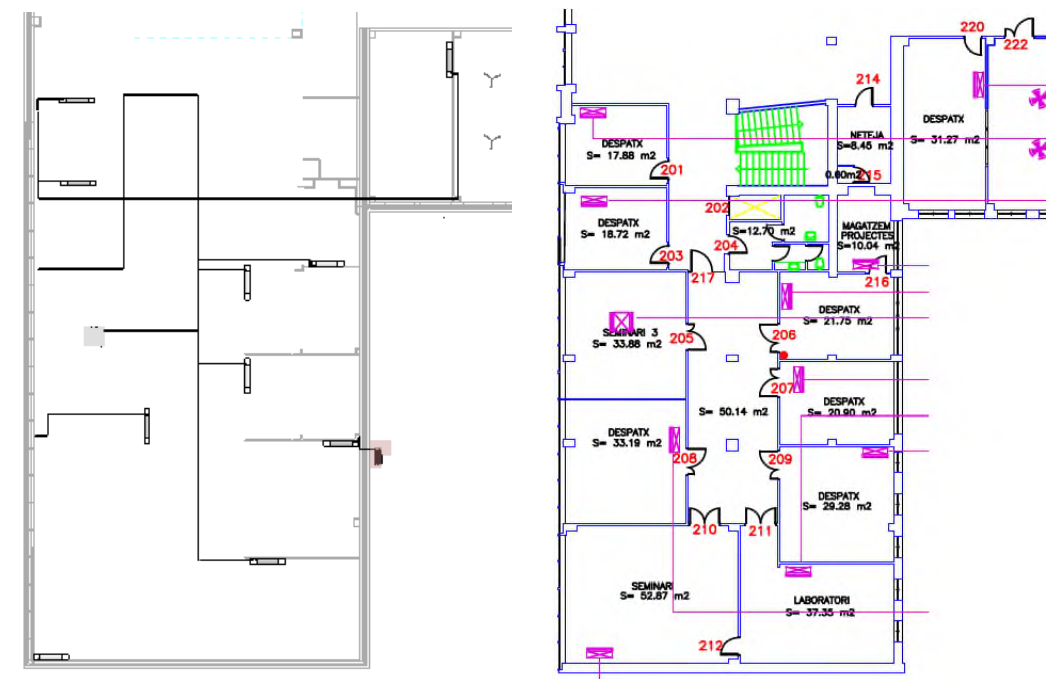


Figura 56. Modelado climatización segunda planta (parte izquierda de la universidad). Izda:
 Modelo Revit. Dcha: Planos As-built

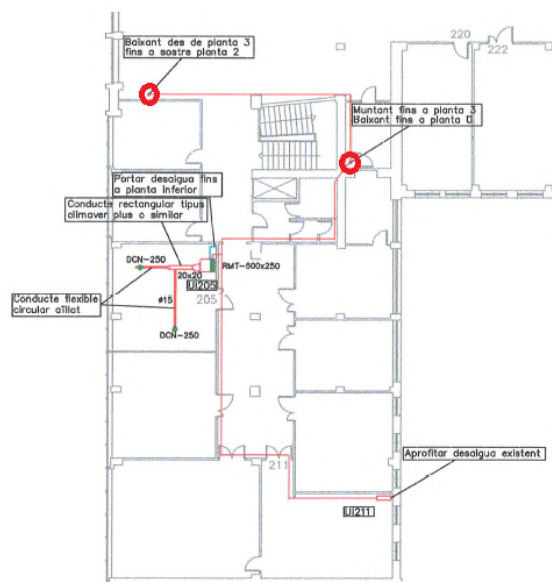


Figura 57. Modelado climatización segunda planta (parte izquierda de la universidad).
 (Anexo I.II)²

² Para mayor visualización, se destaca los montantes/bajantes entre plantas con un círculo rojo.

Posteriormente a la modelización de la planta, se recibió información sobre los montantes de las tuberías verticales (ver Figura 57) pero por falta de tiempo no se pudo realizar las adaptaciones pertinentes.

Analizando los distintos planos, existe una contradicción en el aula seminario 3. En los planos del proyecto del 2005 (anexo I.II) muestra que la salida de aire se ejecuta a través de dos difusores DCN-250 mientras que en los planos As-built (anexo I.I) existe una unidad interior tipo *cassette*. Al existir dicha contradicción, el responsable de mantenimiento explicó que la primera opción era la correcta. Posteriormente, se efectuó una comprobación visual siendo el resultado final la unidad tipo *cassette*.

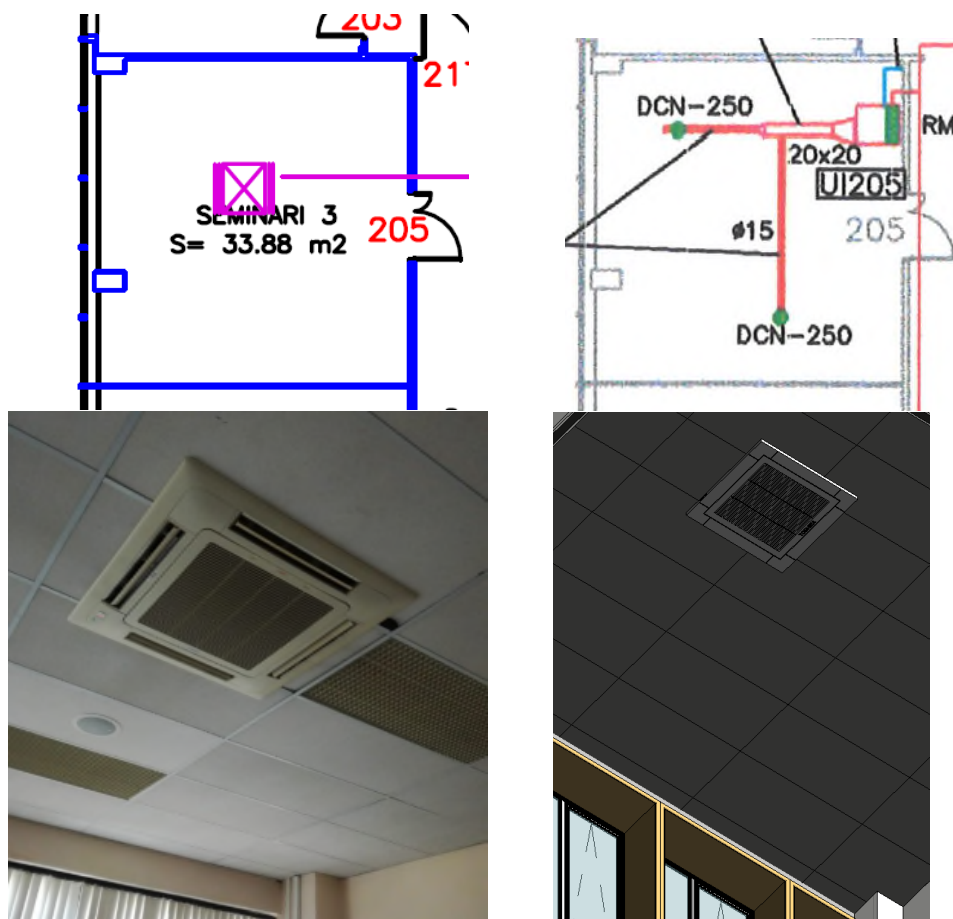


Figura 58. Seminario 3

Arriba; Izda: planos As-built. Dcha: planos proyecto 2005.

Abajo: Izda: fotografía. Dcha: modelo Revit

La información sobre los equipos instalados que aparecen tanto en los planos del proyecto 2005 y los planos As-built, a priori son correctos ya que coinciden entre ellos.

Al igual que la primera planta, los equipos exteriores de los aires acondicionados de la parte central de la segunda planta se hallan en la fachada más cercana, tal y como se muestra a continuación.



Figura 59. Modelado climatización segunda planta (parte central de la universidad)
 Arriba: Modelo Revit. Abajo: Planos As-built

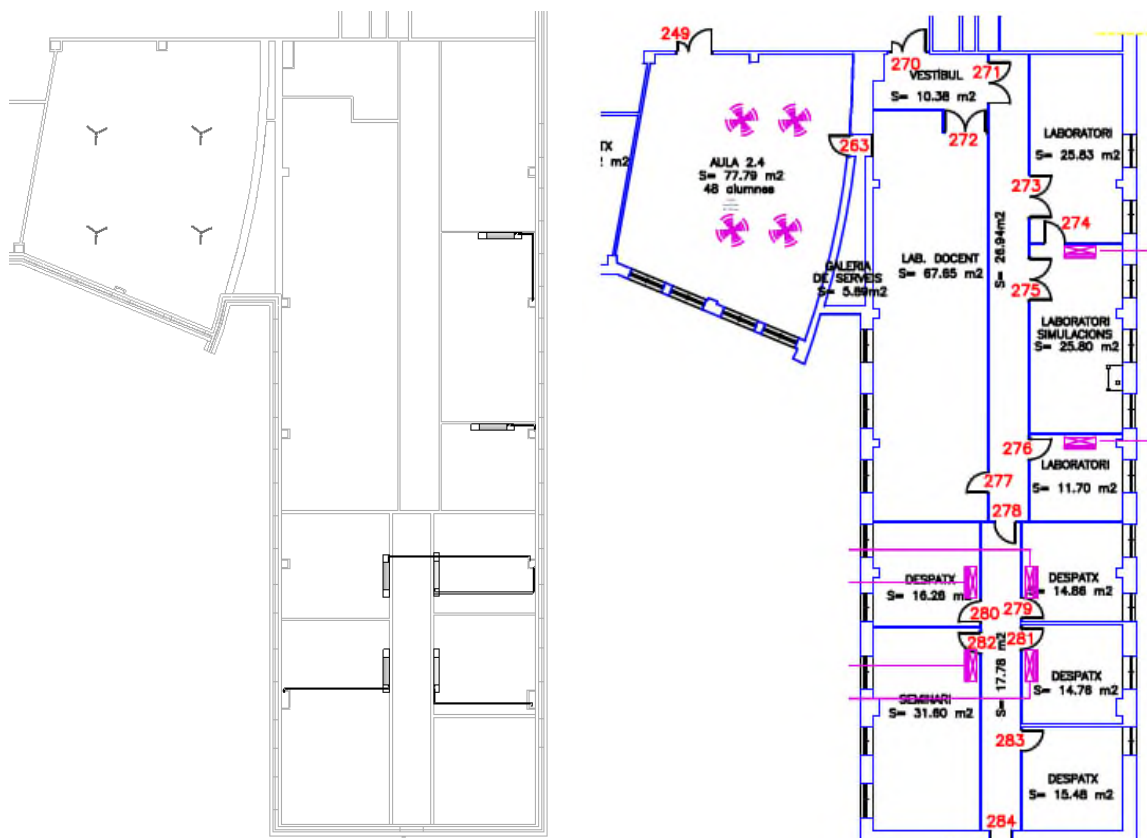


Figura 60. Modelado climatización segunda planta (parte derecha de la universidad).

Izda: Modelo Revit. Dcha: Planos As-built

Los equipos exteriores de la Figura 60 se ubican en la azotea (ver Figura 62). En la imagen de la derecha se muestra el detalle del conexionado entre las unidades interiores y exteriores respetando un modelado racional y ordenado de tuberías³. A continuación, se muestra un detalle de las tuberías que pasan verticalmente a través del edificio y dos ramales para alimentar distintos equipos de climatización,

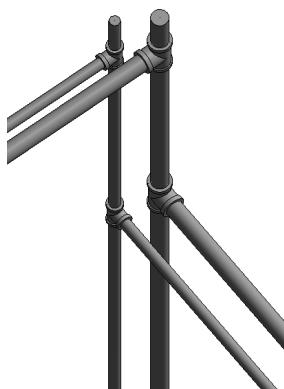


Figura 61. Tuberías verticales y ramales

³ Como en otras ocasiones, se ha efectuado una hipótesis pues es un lugar inaccesible y no se puede comprobar visualmente.

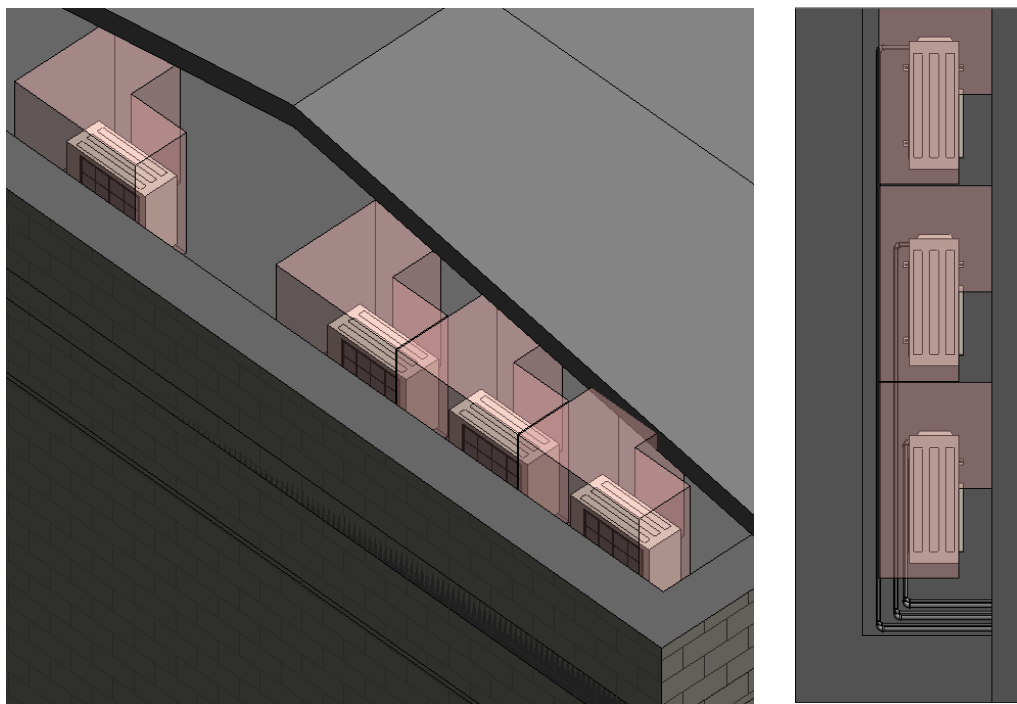


Figura 62. Equipos exteriores de la Figura 60.
Izda: Vista 3D. Dcha: detalle tuberías (alzado)

Para las plantas comentadas, es necesario realizar el conexionado entre los equipos de aire acondicionado (unidades interiores) y los equipos exteriores. Gracias a los planos As-built (anexo I.I) se puede identificar como se relacionan. El problema residía en que no se tenía información del conexionado entre ambos equipos por lo que se ha modelado de la manera más óptima posible, usando los suelos técnicos, los falsos techos y los espacios reservados para montantes y/o bajantes de tuberías. En la siguiente figura se puede apreciar como las tuberías pasan a través de los montantes.

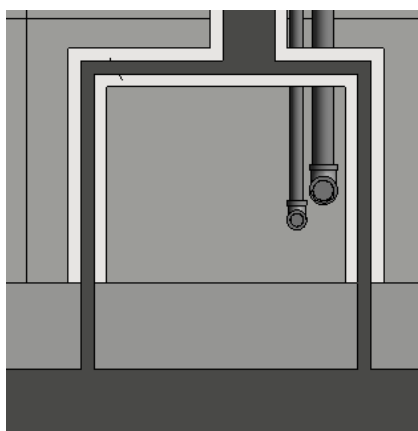


Figura 63. Conexión vertical equipo interior – exterior (vista planta)

En las imágenes que se aprecian a continuación, se expone un ejemplo del conexionado típico modelado entre un aire acondicionado dentro de un despacho (unidad interior) con su

unidad exterior. Según la Figura 41. Perfil falso techo, las tuberías se elevan hasta encontrar el falso techo, se busca el camino más óptimo para encontrar el montante, las tuberías bajan por él hasta encontrar el suelo técnico y finalmente se conectan con la unidad exterior.

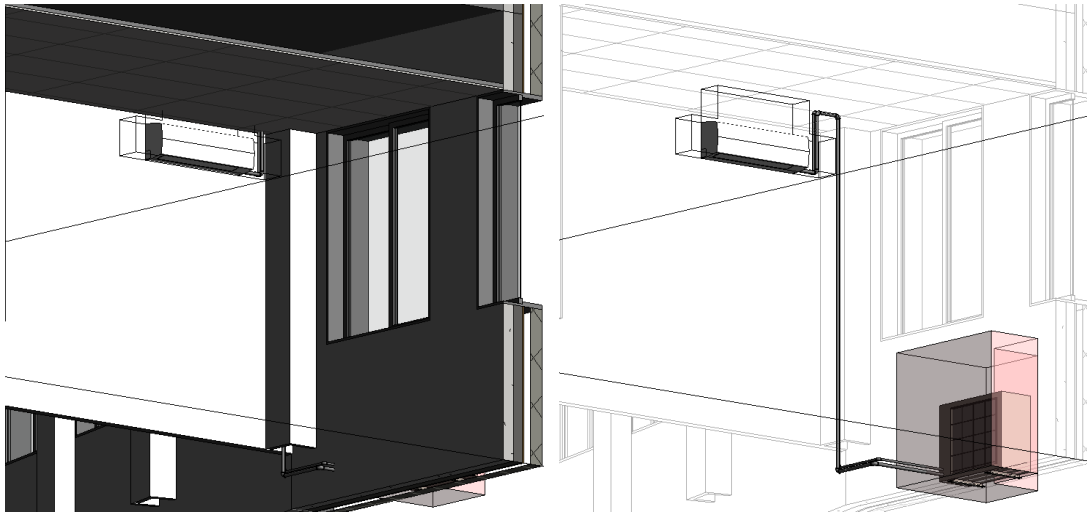


Figura 64. Conexión unidad interior – exterior.

Izda: Vista arquitectura. Dcha: Vista mecánica

Por último, la tercera planta es la única que contiene un sistema de climatización central. Según los planos As-built, costa de por 15 equipos de climatización y 23 equipos tipo *cassette* pero se ha comprobado que los planos no están actualizados con la realidad.

La terraza ubicada en la tercera planta consta de 13 equipos exteriores que alimentan a distintos equipos interiores ubicados en distintas plantas. En las siguientes imágenes se muestran 11 de ellas. El tipo de máquina se ha elegido según las fotográficas tomadas en la universidad.

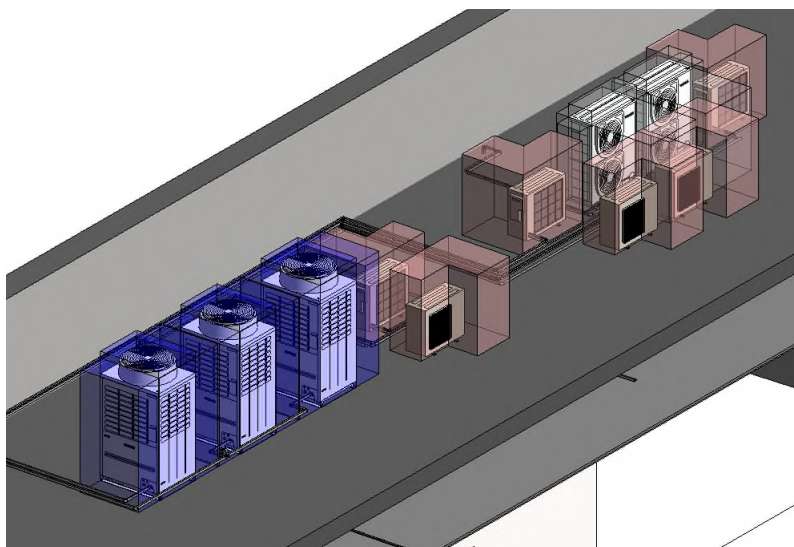


Figura 65. Equipos exteriores terraza ubicada en la tercera planta

Para más detalle, a continuación, se compara el equipo seleccionado en Revit y el equipo actual instalado.

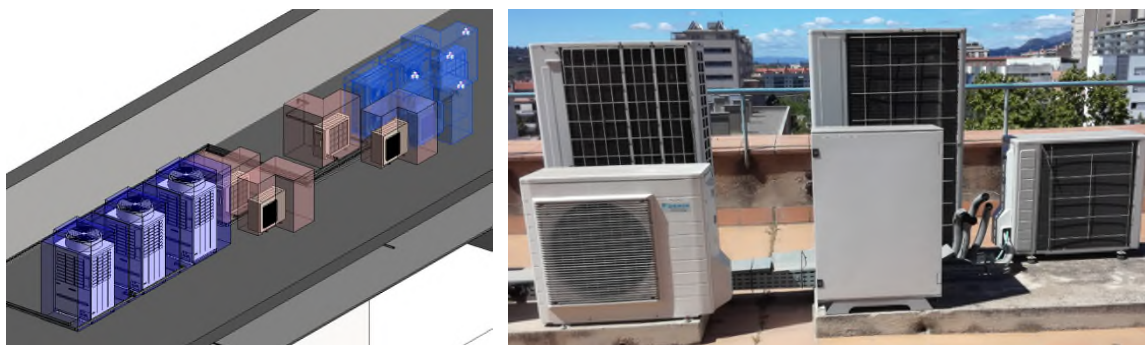


Figura 66. Ubicación equipos TR-CLISE0322, TR-CLISE0113, TR-CLISE0110 y TR-CLISE0111

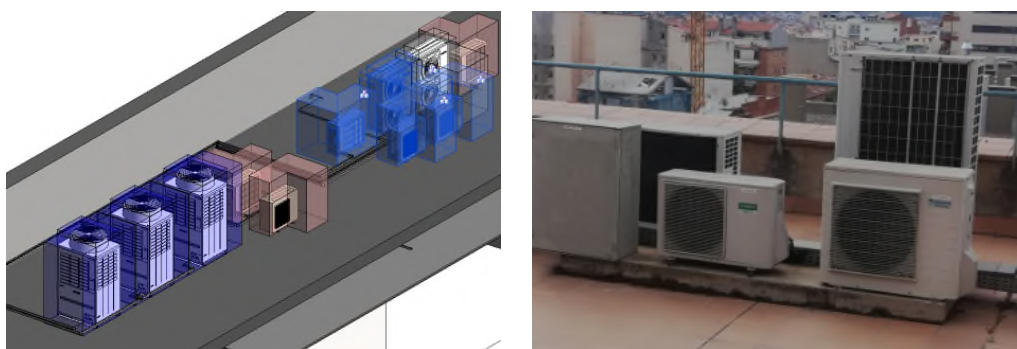


Figura 67. Ubicación equipos TR-CLISE0110, TR-CLISE0108, TR-CLISE0111 y TR-CLISE0109

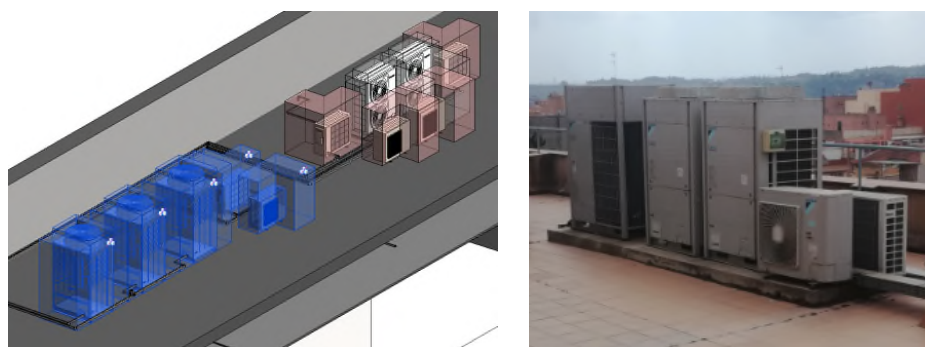


Figura 68. Ubicación equipos TR-CLISE0107, TR-CLISE0106, TR-CLISE0104, TR-CLISE0105 y TR-CLISE0321

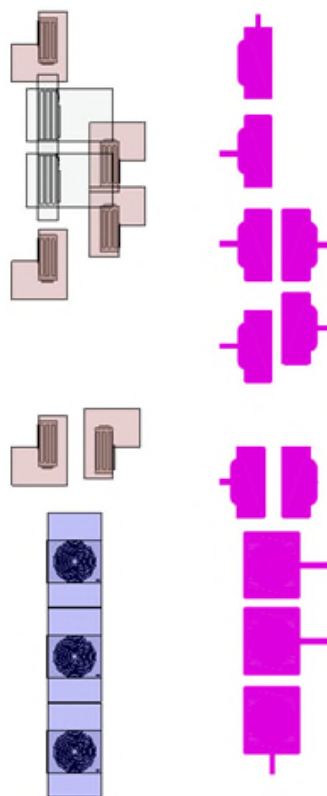


Figura 69. Equipos climatización exteriores. Izda: Modelo Revit. Dcha: Planos As-built

Una de las conexiones más laboriosas que se han efectuado, ha estado la de los equipos exteriores TR-CLISE0104 y TR-CLISE0105 pues alimentan a 15 equipos distintos: 3 equipos de la tercera planta, 5 equipos de la segunda planta y 7 equipos en la planta principal. Las maquinas exteriores son dos módulos distintos, pero trabajan como una maquina única. En la Figura 73 se muestra la conexión de las maquinas con la tercera planta mientras que en la Figura 71 se muestra la conexión con todo el edificio.

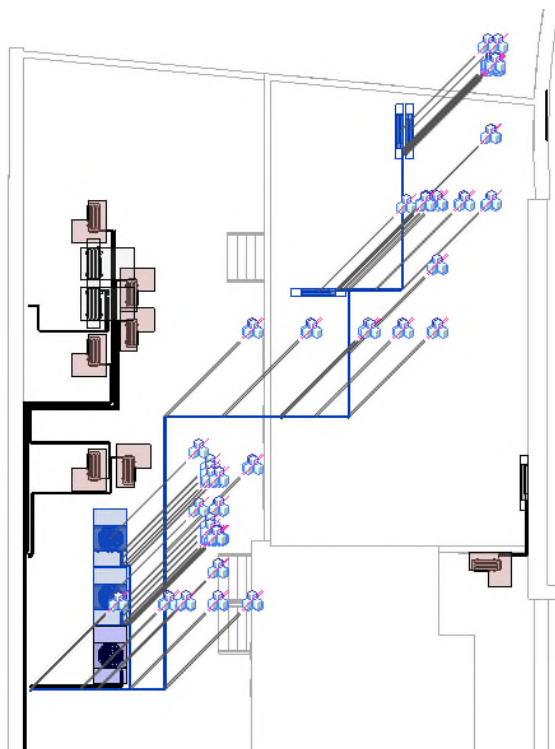


Figura 70. Conexión máquinas TR-CLISE0104 y TR-CLISE0105 con tercera planta



Figura 71. Conexión máquinas TR-CLISE0104 y TR-CLISE0105 con todos los equipos interiores

Todas las tuberías se ubican en falsos techos (ver Figura 41. Perfil falso techo) y se conectan mediante un montante principal que relaciona todas las plantas afectadas.

Otro de los equipos de terraza, el equipo exterior TR-CLISE0112, se encuentra justo en frente del despacho 307, alimentando su equipo interior TR-CLISI0250.

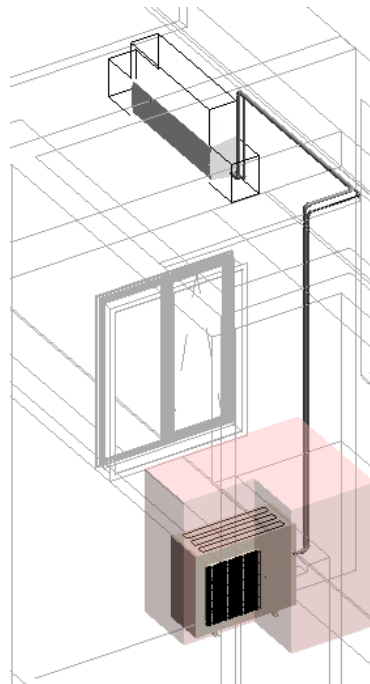


Figura 72. Conexión entre TR-CLISE0112 y TR-CLISI0250

Izda: Vista arquitectura. Dcha: Vista mecánica

El último equipo se ubica justo en la esquina. Se trata del equipo TR-CLISE0103 que alimenta la unidad interior TR-CLISI0223, ubicada en la planta inferior.

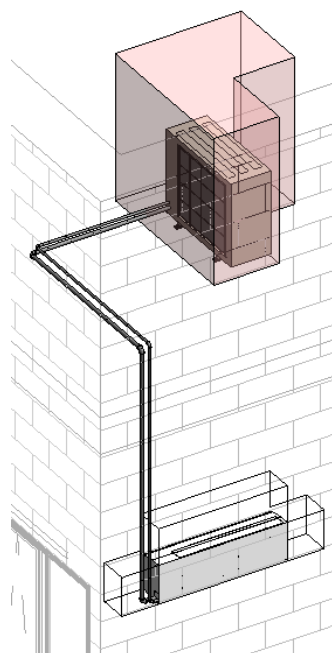
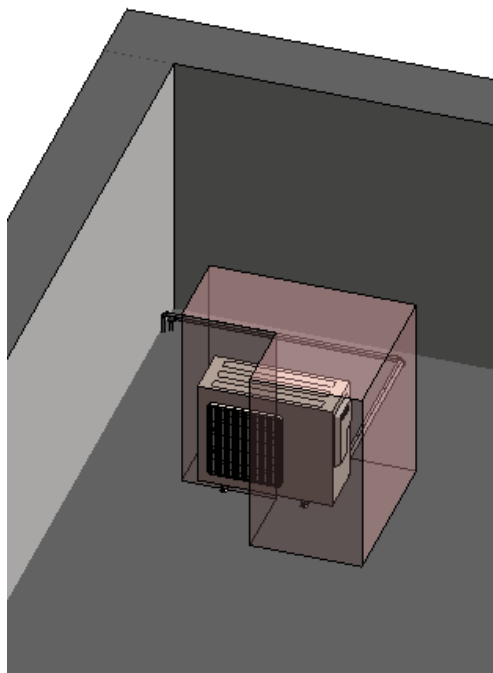


Figura 73. Conexión entre TR-CLISE0103 y TR-CLISI0223

Izda: Vista arquitectura. Dcha: Vista mecánica

Continuando en la azotea, pero en la zona oeste de la universidad, se ubican más equipos de climatización que dan servicio a distintos equipos ubicados en diferentes plantas.

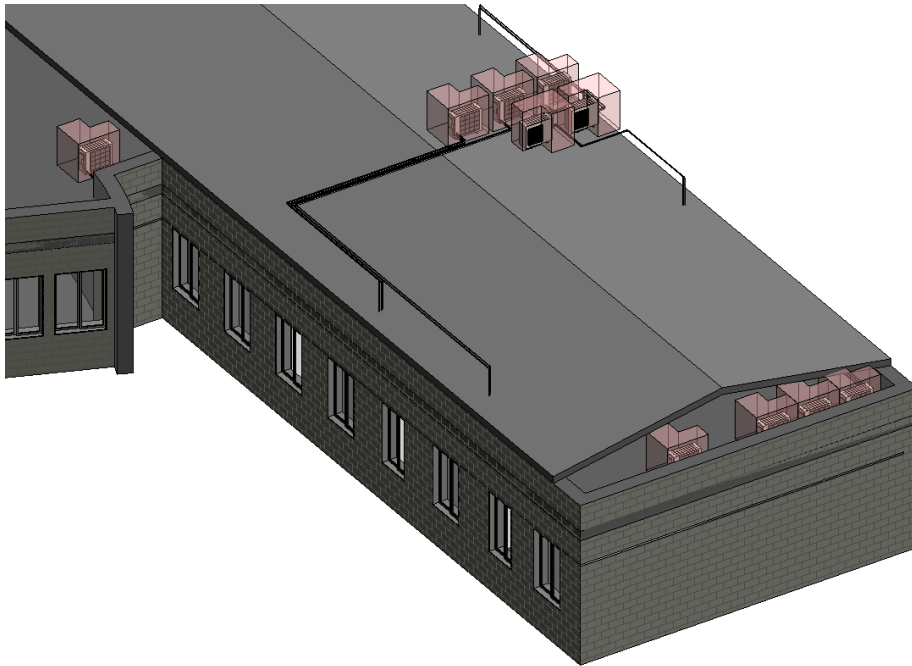


Figura 74. Equipos exteriores parte oeste de la universidad (azotea)

Los equipos se han ubicado directamente en cubierta, sin tener en cuenta el soporte.

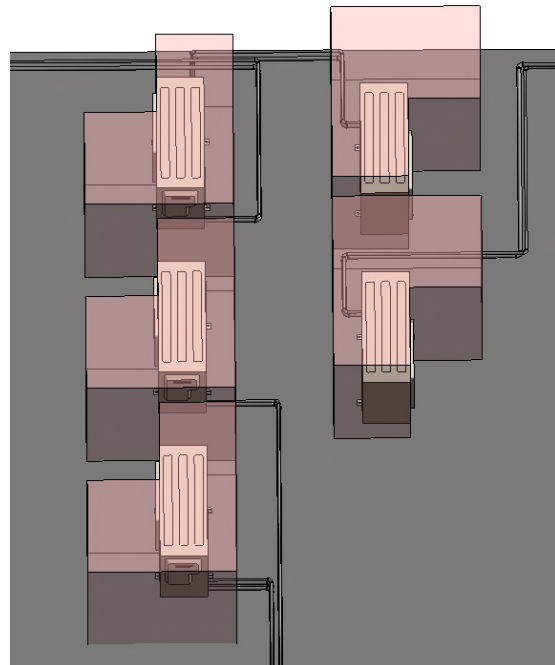
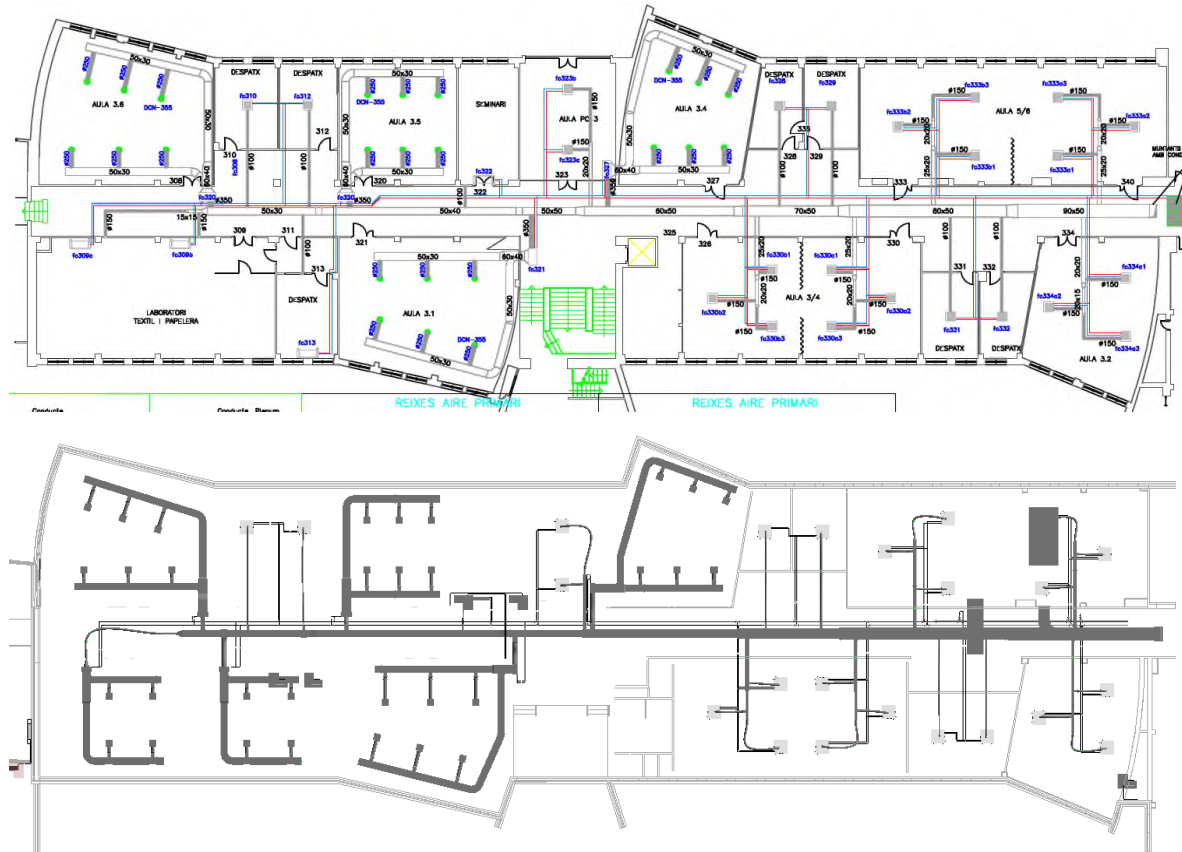


Figura 75. Equipos exteriores parte oeste de la universidad.

Izda: Vista real. Dcha: Modelo Revit

El sistema de climatización centralizado consta de una maquina climatizadora, una planta enfriadora, bombas (que no se han considerado) y distintos tipos de *fancoil* (ver Figura 30).

El modelado se basa en la imagen superior de la Figura 76, proporcionado por el trabajo realizado por Ribé (2006). Se ha intentado seguir al detalle el modelo, pero en algún caso, ha sido necesario realizar una extrapolación del sistema. Para más detalle, ver página 1 de anejo I.IV.



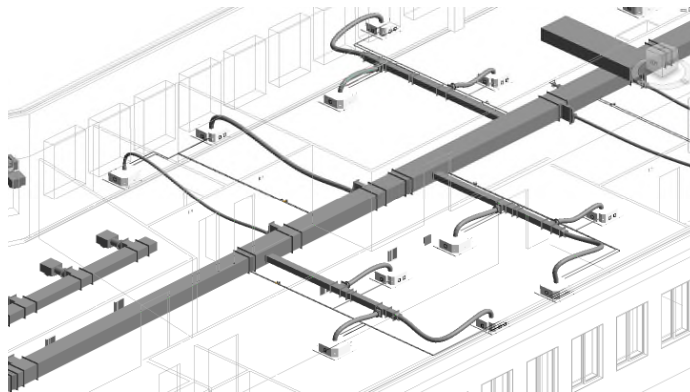


Figura 77. Vista 3D de la tercera planta

Las válvulas tipo 1, 2 y 3, TBV-C 15, TBV-C 20 y STAD-20, respectivamente (Ribé 2006) se han resumido y se han modelado todas con un mismo tipo: TBV-C 20. La figura siguiente muestra el detalle del conexionado en las tuberías.

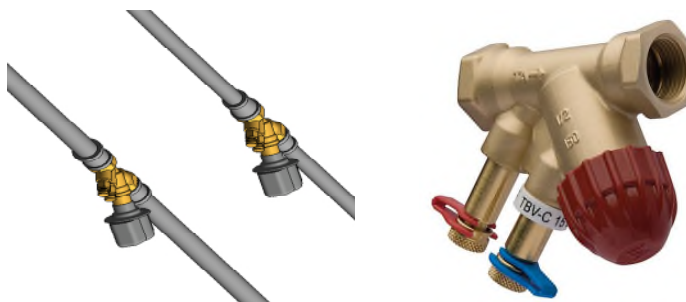


Figura 78. Válvula TBV-C 20

Izda: Modelo Revit. Dcha: Imagen real

Los equipos exteriores ubicados en las fachadas de la universidad se muestran en las imágenes siguientes. Se han modelado los equipos que actualmente están en funcionamiento mientras los que están fuera de servicio no se han tenido en cuenta.

En la tercera planta, la zona que se aprecia en la Figura 79 se puede observar la planta del antiguo laboratorio textil y papelería mientras que en la Figura 80 la distribución actual de la misma zona. El plano obtenido por Ribé (2006) es antiguo por lo que se ha hecho una suposición/extrapolación y el resultado final es el mostrado en la Figura 81, introduciendo los elementos que se han considerado, así como válvulas, tamaño de los conductos, difusores o equipo enfriador de aire.

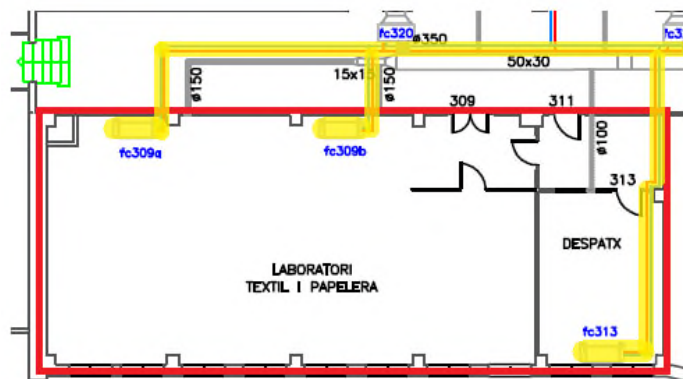


Figura 79. Antiguo laboratorio textil y papelería

La sala modificada es la marcada por el recuadro rojo (laboratorio textil y papelería) mientras que los equipos de climatización y las tuberías que se han substituido son las resaltadas en amarillo.

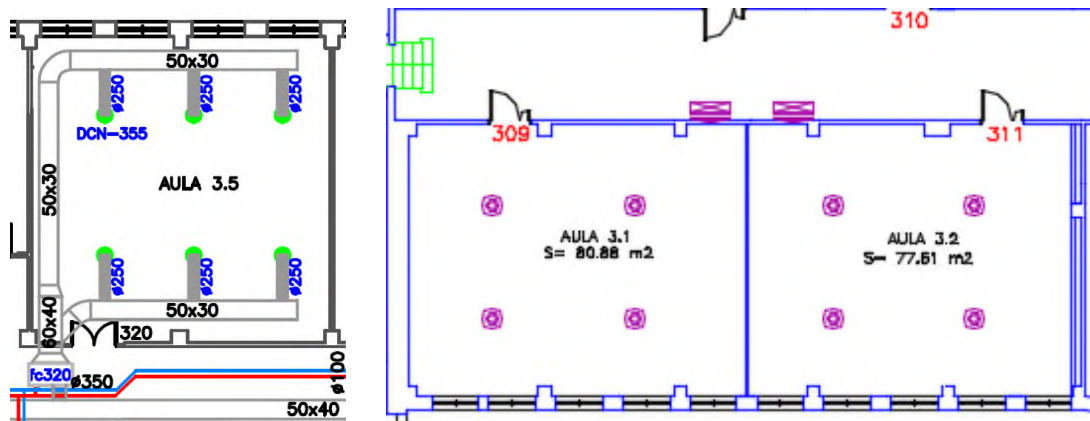


Figura 80. Distribución actual del espacio.

Izda: Aula 3.5 (Ribé 2006). Dcha: Aulas 3.1 y 3.2 (planos As-built)

Dada la distribución anterior (derecha de la figura), similar a la distribución del aula 3.5 (izquierda de la figura) se ha realizado una extrapolación y el resultado final es el mostrado a continuación:

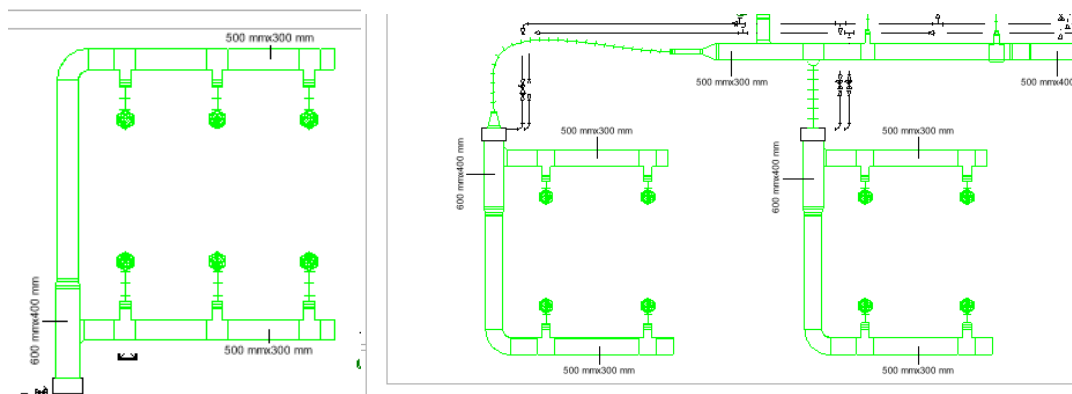


Figura 81. Izda: solución aula 3.5 (Ribé 2006). Dcha: Solución adoptada aulas 3.1 y 3.2

Se ha efectuado distintas comprobaciones visuales ya que se han encontrado distintas discrepancias entre los planos adquiridos y los elementos instalados actuales. De acuerdo con los planos As-built, el despacho 310 contiene un solo equipo tipo *cassette* pero, según la imagen (izquierda) que se observa a continuación, el despacho tiene dos (marcado en recuadro rojo en la parte derecha). Asimismo, los equipos de climatización TR-CLIFC0081 y TR-CLIFC0084 no se visualizan pues se encuentran situados en el falso techo.

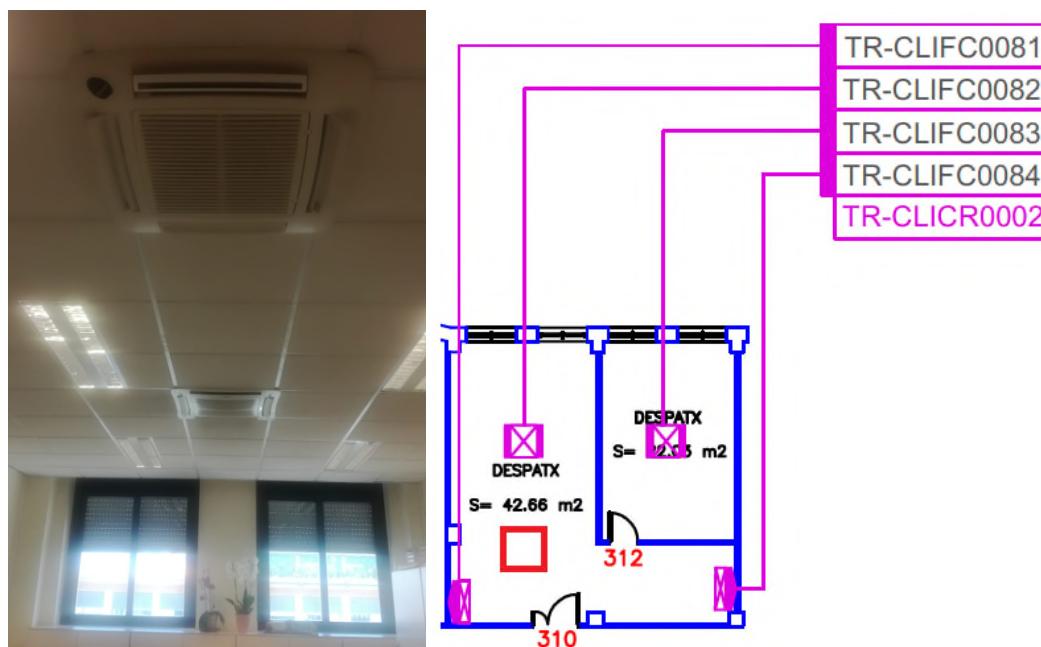


Figura 82. Despacho 310.

Izda: Fotografía. Dcha: plano As-built

En la Figura 83 se observa el modelado final del despacho 310, realizando una hipótesis de conexión, tanto para las tuberías de refrigerante como los conductos de aire.

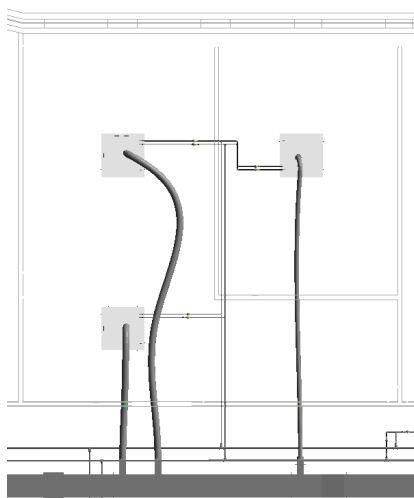


Figura 83. Despacho 310 (Vista Revit)

Al no disponer del modelo en Revit de distintos elementos de climatización, se modelaron con un nivel de detalle bajo, considerando las características físicas. Uno de los elementos afectados es la unidad FCH-20 (Megatherm 2019).

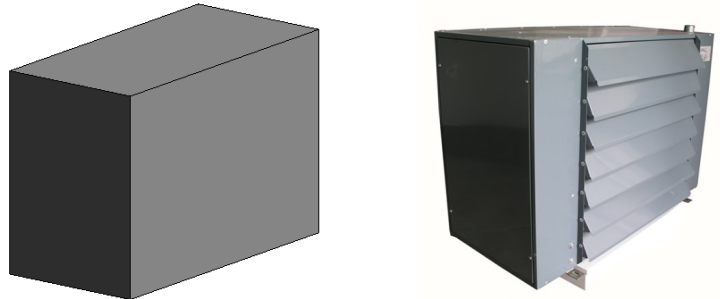


Figura 84. Elemento de climatización FCH-20.

Izda: Modelo Revit. Dcha: Imagen real (Megatherm 2019)

En el caso de la maquina enfriadora y la unidad de tratamiento de aire, se ha seguido el mismo proceso: se ha modelado los elementos teniendo en cuenta sus características físicas:



Figura 85. Elemento de climatización YCSA-150-TP.

Izda: Modelo Revit. Dcha: Imagen real. Centro: Fotografía

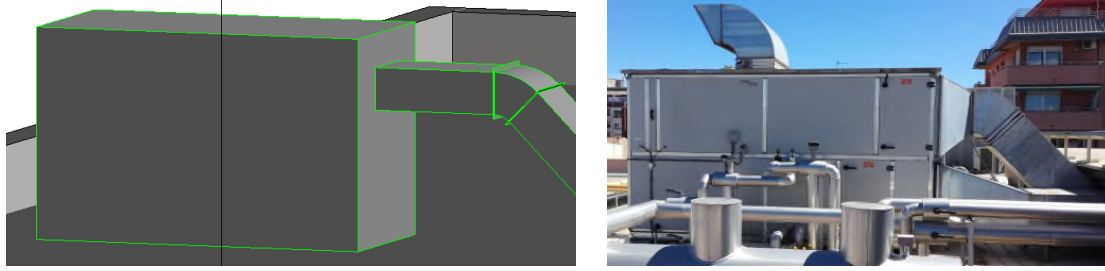


Figura 86. Elemento de climatización CTA-10

Izda: Modelo Revit. Dcha: Fotografía

Se ha utilizado la misma nomenclatura de fachadas que se puede encontrar en el trabajo final de grado (Poyato 2014). En la Figura 87 se observa el desglose del edificio según su orientación.

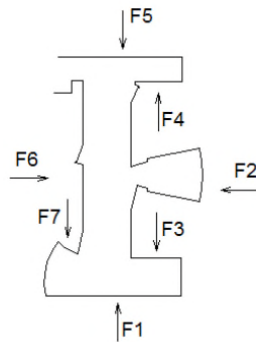


Figura 87. Distribución de fachadas (Poyato 2014)

Todos los equipos exteriores ubicados en la fachada de la universidad, teniendo en cuenta los planos As-built, se han modelado en la misma ubicación, tal y como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 88. Fachada F6 (Poyato 2014)
 Arriba: plano As-built. Abajo: Modelo Revit



Figura 89. Fachada F2 (Poyato 2014)
Arriba: plano As-built. Abajo: Modelo Revit

Para un mayor detalle se muestra la siguiente figura con los equipos exteriores ubicados en la fachada de la parte derecha de la universidad.



Figura 90. Zona ampliada de la Figura 89 (Poyato 2014)

7 Nivel de fidelidad

A parte del modelado de la instalación de ventilación y climatización del edificio TR5, una parte importante del presente trabajo es encontrar una manera de calificar y cuantificar la información que se ha adquirido. Para ello, se ha desarrollado un sistema en el que se puede visualizar los parámetros y la fuente donde se ha encontrado la información, de cada uno de los elementos al igual que si no se ha conseguido obtener este parámetro:

- Trabajos finales de grado (id#2 de la Tabla 6)
- Planos As-built (id#4 de la Tabla 6)
- Inventario UPC (Archibus) (id#5 de la Tabla 6)
- Planos proyectos (id#6 de la Tabla 6)
- Ficha técnica (Datasheets)

Se ha encontrado mucha información a través de las fichas técnicas (datasheets) de los elementos pero muchos de ellos son irrelevantes para el mantenimiento del edificio según el estudio de Alavi y Forcada (2019). Dependiendo del tipo de parámetro, la información a introducir puede ser booleana (si / no), numérica (100), texto (Despacho) o combinación de ellos, como podría ser el modelo de la máquina (RKS60BVM9).

En los siguientes subapartados se clasifican los distintos elementos que prevalecen en el sistema de climatización junto con una explicación de la información necesaria versus obtenida.

Cada subapartado contiene una tabla con todos los parámetros de cada elemento que participa en el modelado del sistema de ventilación y climatización.

Todos los parámetros necesarios para cada elemento siguen el criterio según el estudio realizado por Alavi y Forcada (2019).

7.1 Difusores

Hay un total de 27 parámetros a rellenar para el caso de los difusores. En ningún caso se ha podido completar la información al 100% pues hay datos que no se han podido obtener por ningún medio. En la tabla posterior se resume los parámetros obtenidos de los difusores de aire para la ventilación:

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Terminal Type	✓	Paper format	Manufacturer	✓	Paper format
Airflow Rate Range	✓	Paper format	Room Name	✓	Paper format
Has Fan	✓	Paper format	Room Number	✓	Paper format
Has Return Air	✓	Paper format	Maker Name	✓	Paper format
Has Sound Attenuator	✓	Paper format	Acquisition date	x	-
Reheat Type	x	-	Serial number	x	-
Airflow Curve	x	-	Mean time between failure	x	-
Atmospheric Pressure	x	-	Service life duration	x	-
Damper Position	x	-	Warranty content text	x	-
Sound Rating	✓	Paper format	Warranty end date	x	-
Price	✓	Paper format	Warranty identifier	x	-
Material	✓	Paper format	Warranty period	x	-
Assessment date	x	-	Warranty start date	x	-

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Assessment condition	x	-			

Tabla 13. Requisitos LOD para difusores

Únicamente se ha seguido la información obtenida por el trabajo de Ribé (2006) por lo que se ha considerado todos los difusores (25 en total) del mismo tipo. Paralelamente a la información proporcionada en la tabla anterior, se ha modelado el elemento teniendo en cuenta el tamaño correspondiente al difusor.

De los parámetros que se muestran en la Tabla 13 se ha podido encontrar información en 12 de ellos, obteniendo un ratio del 44,45%. De éstos 12, la mitad de ellos son parámetros que no tienen un valor eficaz para el mantenimiento del edificio (precio, material, fabricante, ubicación y modelo). Así pues, si se excluyen dichos parámetros, el ratio de información para los difusores es de 22,23%.

La información sobre los difusores que aparece en Revit es mucho más completa ya que los difusores han sido descargados directamente de la web oficial del fabricante. Además, se añade los parámetros específicos manualmente.

7.2 Rejillas de ventilación

La cantidad de información obtenida para las rejillas de ventilación es aproximadamente la misma que en el caso de los difusores:

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Terminal Type	✓	Paper format	Manufacturer	✓	Paper format
Airflow Rate Range	✓	Paper format	Room Name	✓	Paper format
Has Fan	✓	Paper format	Room Number	✓	Paper format
Has Return Air	✓	Paper format	Model (Maker Name)	✓	Paper format
Has Sound Attenuator	✓	Paper format	Acquisition date	x	-
Reheat Type	x	-	Serial number	x	-
Airflow Curve	x	-	Mean time between failure	x	-
Atmospheric Pressure	x	-	Service life duration	x	-
Damper Position	x	-	Warranty content text	x	-
Sound Rating	✓	Paper format	Warranty end date	x	-
Price	✓	Paper format	Warranty identifier	x	-
Material	✓	Paper format	Warranty period	x	-
Assessment date	x	-	Warranty start date	x	-
Assessment condition	x	-			

Tabla 14. Requisitos LOD para rejillas

Únicamente se ha considerado las rejillas de retorno obtenidas según el plano de la página 108 del estudio de Ribé (2006) (plano 1 del anejo I.IV) ya que todas las demás no ha sido posible de localizar. Todas las rejillas se pueden observar en la página 31 del mismo trabajo.

Como en el caso de los difusores, a parte de la información proporcionada en la tabla anterior, las rejillas modeladas en Revit tienen el tamaño correcto, siguiendo la información del anejo I.IV.

En el caso de las rejillas de retorno, también se obtiene información en un 44,45% ya que se han encontrado datos en 12 de los 27 parámetros necesarios. Si se obvia los parámetros que no tienen relevancia para el mantenimiento del edificio, el ratio desciende hasta la mitad, con un 22,23% exactamente igual que el caso de los difusores.

La información sobre las rejillas de ventilación que aparece en Revit es mucho más completa ya que la familia ha sido descargada directamente de la web oficial del fabricante. Además, se añade los parámetros específicos manualmente.

7.3 Válvulas

Para la recopilación de información acerca de las válvulas del sistema, se basa en el esquema y en la tabla del plano de Ribé (2006) (anexo I.IV).

Los parámetros de las válvulas del sistema aparecen en la siguiente tabla donde se ha encontrado información de 7 de los 17 parámetros, obteniendo un ratio del 41,18%.

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Flow Coefficient	✓	Paper Format	Serial number	x	-
Valve Mechanism	x	-	Mean time between failure	x	-
Input code	✓	Paper Format	Service life duration	x	-
Output code	✓	Paper Format	Warranty content text	x	-
Manufacturer	✓	Paper Format	Warranty end date	x	-
Room Name	✓	Paper Format	Warranty identifier	x	-
Room Number	✓	Paper Format	Warranty period	x	-
Model (Maker Name)	✓	Paper Format	Warranty start date	x	-
Acquisition date	x	-			

Tabla 15. Requisitos LOD para válvulas

Si se tiene en cuenta que la información de 6 de los 7 parámetros es irrelevante para el funcionamiento y mantenimiento del edificio (nombre de la tubería, fabricante, ubicación y modelo) el ratio desciende hasta un 5,88%.

Como en los casos anteriores, al ser una familia descargada directamente de la web del fabricante, el elemento contiene mucha más información de la requerida para el propósito del presente trabajo.

7.4 Unidades interiores

Hay un total son 26 parámetros a tener en cuenta para el caso de las unidades interiores tipo *split*. Como existe una gran variedad de equipos distintos, se decide seleccionar un equipo aleatoriamente y usar su ficha técnica como modelo ya que se considera que la información que aparece en un datasheet es similar al de los demás equipos. El equipo seleccionado es el siguiente:

Código de equipo	Unidad exterior	Planta	Marca	Modelo
TR-CLISI0295	TR-CLISE0154	P1	DAIKIN	FTKS71BVMB

Tabla 16. Unidad interior tipo split seleccionada para obtener información de parámetros

Se ha usado el inventario de equipos (anexo II) pero en ningún caso se ha podido completar la información al 100% pues hay datos que no se han podido obtener por ningún medio. En la tabla posterior se resume los parámetros obtenidos para la unidad interior elegida en la Tabla 16:

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Tag Name	✓	Paper Format Excel file	Manufacturer	✓*	Paper format
Outdoor Unit	✓	Paper Format Excel file	Room Name	✓*	Paper Format
Assessment Condition	✓	Excel file	Room Number	✓*	Paper Format Excel file
Assessment Date	x	-	Model (Maker Name)	✓*	Excel file
Capacity Rated (Kw)	✓	Paper Format	Acquisition date	x	-
Power Consumption Rated (W)	✓	Paper Format	Serial number	✓*	Excel file
COP Rated	✓	Paper Format	Mean time between failure	x	-
Air Flow Rate	✓	Paper format	Service life duration	x	-
Fan Type	✓	Paper format	Warranty content text	x	-
Air Filter	✓	Paper format	Warranty end date	x	-
Cooling Efficiency	x	-	Warranty identifier	x	-
Heating Capacity	x	-	Warranty period	x	-
Heating Efficiency	x	-	Warranty start date	x	-

Tabla 17. Requisitos LOD para unidades interiores (tipo split)

En la tabla anterior, en los parámetros donde aparezca el siguiente símbolo (✓) se considera que todos los datasheet tienen la misma información. En cambio, para el siguiente símbolo (✓*), hace referencia a la información obtenida en las tablas Tabla 18 y Tabla 19.

Al tener muchos equipos diferentes instalados por toda la universidad e información muy variada en relación a éstos, se decide realizar una separación entre todas las plantas para conocer el nivel de detalle sobre los siguientes parámetros:

- Nombre del fabricante.
- Número del espacio.
- Nombre del espacio.
- Modelo.
- Número de serie del equipo.

En la tabla posterior se muestra la separación por plantas de los equipos interiores de las zonas climatizadas de la universidad donde PS significa planta sótano. En la tercera columna, se muestra el número de equipos con información mientras que la cuarta columna resume la cantidad total de equipos por planta.

Parámetro	Planta	Información obtenida	Número equipos	Ratio
Manufacturer	PS	3	3	100,00%
Room Name	PS	3		100,00%
Room Number	PS	3		100,00%
Model (Maker Name)	PS	0		0,00%

Parámetro	Planta	Información obtenida	Número equipos	Ratio
Serial number	P5	0		0,00%
Manufacturer	P0	19	19	100,00%
Room Name	P0	19		100,00%
Room Number	P0	19		100,00%
Model (Maker Name)	P0	5		26,32%
Serial number	P0	0		0,00%
Manufacturer	P1	23	25	92,00%
Room Name	P1	25		100,00%
Room Number	P1	25		100,00%
Model (Maker Name)	P1	10		40,00%
Serial number	P1	0		0,00%
Manufacturer	P2	26	26	100,00%
Room Name	P2	26		100,00%
Room Number	P2	26		100,00%
Model (Maker Name)	P2	5		19,23%
Serial number	P2	0		0,00%
Manufacturer	P3	8	8	100,00%
Room Name	P3	8		100,00%
Room Number	P3	8		100,00%
Model (Maker Name)	P3	7		87,50%
Serial number	P3	4		50,00%

Tabla 18. Nivel LOD de los equipos interiores (tipo split) según la información obtenida

Si se tiene en cuenta todos los parámetros, el ratio que se obtiene es del 34,62% puesto que hay información en 9 de los 26 parámetros. Si se suprimen los parámetros que no tienen relevancia para el mantenimiento del edificio (nombre, fabricante, ubicación y modelo) el ratio disminuye hasta un 15,38%.

Valorando los resultados obtenidos en la Tabla 18 (quinta columna), considerando toda la información de los equipos, el ratio real de cada parámetro se encuentra en la siguiente tabla:

PARAMETER	Media
Manufacturer	98,67%
Room Name	100,00%
Room Number	100,00%
Model (Maker Name)	45,51%
Serial number	8,33%

Tabla 19. LOD medio de información de unidades interiores (tipo split)

Las unidades interiores de climatización tipo *cassette* se encuentran clasificadas dentro de la categoría VAV (volumen de aire variable) y los parámetros asociados son un poco diferentes a los equipos de aire acondicionado tipo *split*:

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Tag Name	✓	Paper Format Excel file	Model (Maker Name)	✓*	Excel file
Assessment Condition	✓	Excel file	Acquisition date	x	-
Assessment Date	x	-	Serial number	✓*	Excel file
Max flow	✓	Paper format	Mean time between failure	x	-
Temperature exchange efficiency	x	-	Service life duration	x	-
Fan-Air flow rate	✓	Paper format	Warranty content text	x	-
Air filter	✓	Paper format	Warranty end date	x	-
Power supply	✓	Paper format	Warranty identifier	x	-
Manufacturer	✓*	Paper format	Warranty period	x	-
Room Name	✓*	Paper Format	Warranty start date	x	-
Room Number	✓*	Paper Format Excel file			

Tabla 20. Requisitos LOD para unidades interiores (tipo *cassette*)

En la tabla anterior, en los parámetros donde aparezca el siguiente símbolo (✓) se considera que todos los datasheet tienen la misma información. En cambio, para el siguiente símbolo (✓*), hace referencia a la información obtenida en las tablas Tabla 22 y Tabla 23.

Se emplea el mismo método que en el caso anterior: usar un modelo como referencia y a través de su ficha técnica obtener la máxima información posible. Así pues, el equipo tipo *cassette* es el descrito a continuación:

Código de equipo	Unidad exterior	Planta	Marca	Modelo
TR-CLISI0231	TR-CLISE0104 / 05	P2	DAIKIN	FXFQ50M

Tabla 21. Unidad interior tipo *cassette* seleccionada para obtener información de parámetros

Efectuando la partición por plantas, la información que se obtiene para los equipos de climatización tipo *cassette* se muestra en la siguiente tabla:

Parámetro	Planta	Información obtenida	Número equipos	Ratio
Manufacturer	P0	2	4	50,00%
Room Name	P0	4		100,00%
Room Number	P0	4		100,00%
Model (Maker Name)	P0	2		50,00%
Serial number	P0	0		0,00%
Manufacturer	P2	1	1	100,00%

Parámetro	Planta	Información obtenida	Número equipos	Ratio
Room Name	P2	1		100,00%
Room Number	P2	1		100,00%
Model (Maker Name)	P2	1		100,00%
Serial number	P2	0		0,00%
Manufacturer	P3	2	30	6,67%
Room Name	P3	30		100,00%
Room Number	P3	30		100,00%
Model (Maker Name)	P3	2		6,67%
Serial number	P3	0		0,00%

Tabla 22. Nivel LOD de los equipos interiores (tipo cassette) según la información obtenida

Con la información de todas las plantas, en la siguiente tabla se muestra el ratio de los parámetros:

Parámetro	Media
Manufacturer	52,22%
Room Name	100,00%
Room Number	100,00%
Model (Maker Name)	52,22%
Serial number	0,00%

Tabla 23. LOD medio para unidades interiores (tipo cassette)

Según la Tabla 20 se ha podido obtener información de 11 de los 21 parámetros posibles (ratio de 43,06%) pero, teniendo en cuenta que 5 son parámetros poco interesantes para el mantenimiento del edificio (modelo, fabricante, nombre y ubicación), el ratio es de 31,25% (5 de 16 parámetros).

Al ser una familia descargada directamente de la web oficial del fabricante, el equipo contiene información irrelevante para el mantenimiento del edificio. Los parámetros necesarios se han añadido manualmente y se han completado aquellos donde se tenía información.

7.5 Unidades exteriores

Para calcular la cantidad de información que existe sobre las unidades exteriores se ha aplicado el mismo procedimiento que el caso de las unidades interiores de climatización. Se ha optado para seleccionar la unidad exterior del equipo interior elegido aleatoriamente (ver Tabla 16) para usar su hoja de características y encontrar la máxima información posible según la Tabla 25.

La unidad exterior es la siguiente:

Código de equipo	Unidad interior	Planta	Marca	Modelo
TR-CLISE0154	TR-CLISI0295	P1	DAIKIN	RKS71BVMB9

Tabla 24. Unidad exterior seleccionada para obtener información de parámetros

A continuación se presentan los 21 parámetros a considerar para las unidades exteriores:

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Tag Name	✓	Paper Format Excel file	Model (Maker Name)	✓*	Excel file
Indoor Unit	✓	Paper Format Excel file	Acquisition date	x	-
Assessment Condition	✓	Excel file	Serial number	✓*	Excel file
Assessment Date	x	-	Mean time between failure	x	-
Refrigerant type	✓	Paper Format	Service life duration	x	-
Air Flow Rate	✓	Paper Format	Warranty content text	x	-
Fan type	✓	Paper Format	Warranty end date	x	-
Fan power consumption	✓	Paper Format	Warranty identifier	x	-
Manufacturer	✓*	Paper format	Warranty period	x	-
Room Name	x	NA	Warranty start date	x	-
Room Number	x	NA			

Tabla 25. Requisitos LOD para unidad exterior

En la tabla anterior, en los parámetros donde aparezca el siguiente símbolo (✓) se considera que todos los datasheet tienen la misma información. En cambio, para el siguiente símbolo (✓*), hace referencia a la información obtenida en las tablas Tabla 26 y Tabla 27.

En éste caso específico, los parámetros *número del espacio* y *nombre del espacio* no aplican (NA) pues no se encuentran en ninguna zona específica, si no en la azotea o en el contorno de la universidad.

Al igual que en el apartado anterior, se ha separado cada equipo por ubicación, según se encuentren en la cubierta o en la fachada, PCO o F, respectivamente.

Parámetro	Planta	Información obtenida	Número equipos	Ratio
Manufacturer	PCO	27	27	100,00%
Room Name	PCO	-		-
Room Number	PCO	-		-
Model (Maker Name)	PCO	27		100,00%
Serial number	PCO	4		14,81%
Manufacturer	F	33	33	100,00%
Room Name	F	-		-
Room Number	F	-		-
Model (Maker Name)	F	5		15,15%
Serial number	F	0		0,00%

Tabla 26. Nivel LOD de los equipos exteriores según la información obtenida

Considerando la información obtenida en la Tabla 26, el ratio total se obtiene realizando las medias de cada parámetro:

PARAMETER	Media
-----------	-------

Manufacturer	100,00%
Room Name	-
Room Number	-
Model (Maker Name)	57,58%
Serial number	7,41%

Tabla 27. LOD medio de unidades exteriores

Si se obvian los parámetros que no tienen relevancia para el mantenimiento del edificio (nombre, fabricante y modelo), de los 9 parámetros que se obtiene información, se reduce a 6, obteniendo un ratio del 37,5%.

Otra fuente de información a considerar, son las etiquetas que contienen los equipos (ver Figura 27), donde aparece las características principales. A continuación se muestra un listado con la información de una etiqueta de la marca Daikin:

- Modelo
- Mfg no (*manufacturing number*)
- Mfg date (*manufacturing date*)
- Peso
- Presión
- Grado de protección (IP)
- Frecuencia
- Corriente máxima
- Corriente fusible
- Tensión
- Tipo de refrigerante

Si, en cambio, se observa una etiqueta de la marca General (Fujitsu), detallan la siguiente información:

- Capacidad de refrigeración / calefacción
- Potencia de entrada
- Ratio eficiencia energética (*COP*)
- Corriente máxima refrigeración / calefacción
- Grado de protección (IP)

Teniendo en cuenta los listados anteriores, la información que se puede obtener es distinta dependiendo de cada fabricante, por lo que se puede considerar la opción de tomar fotografías de todos los equipos y mantener un control más detallado. Posteriormente, dichas imágenes podrían ser incluidas en el modelo BIM.

Como en todos los casos, los parámetros necesarios (Tabla 25) han sido incorporados manualmente y se ha completado con la máxima información posible (sin tener en cuenta los datos de las etiquetas ya que no ha sido posible visitar todos los equipos en la visita técnica (ver apartado 4.2.1 Visita técnica TR5)).

7.6 Unidad de tratamiento de aire

La información obtenida para los parámetros específicos de la única unidad de tratamiento de aire ubicada en la azotea son los siguientes:

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Tag Name	✓	Paper Format Excel file	Room Number	x	NA
Assessment Condition	✓	Excel file	Model (Maker Name)	✓	Paper Format Excel file
Assessment Date	x	-	Acquisition date	x	-
Price	✓	Paper format	Serial number	x	-
Power	x	-	Mean time between failure	x	-
Air Flow Rate	✓	Paper format	Service life duration	x	-
Efficiency	x	-	Warranty content text	x	-
Manufacturer	✓	Paper Format Excel file	Warranty end date	x	-
Room Name	x	NA	Warranty identifier	x	-

Tabla 28. Requisitos LOD para unidad tratamiento de aire

Según la tabla anterior, hay un total de 18 parámetros a rellenar, pero, si no tenemos en cuenta la ubicación de la maquina (*número del espacio y nombre del espacio*) ya que se sitúa en la azotea, hay un total de 16. De estos 16, se recopila información en 6 de los casos, obteniendo un ratio del 37,5%. Si en cambio, se obvian los parámetros cuya relación con el mantenimiento del edificio es nula, los parámetros necesarios se reducen hasta 12 (nombre, modelo, precio, fabricante) de los cuales hay información únicamente en 2 casos, obteniendo un ratio de 16,67%.

A diferencia de todas las familias explicadas en los apartados previos, se decidió crear la familia de la unidad de tratamiento de aire pues no se encontraba disponible en la web oficial del fabricante. Se ha usado un LOD muy bajo ya que la familia creada se basa exclusivamente en el tamaño físico real de la maquinaria (ver Figura 86). En éste caso, se presentan muchos menos ya que se ha añadido únicamente los parámetros selectos.

7.7 Máquina enfriadora

Tal y como se ha explicado en anteriores apartados, la idea principal era dotar todas las plantas del edificio con el mismo sistema que se emplea para la tercera planta, teniendo una unidad de tratamiento de aire y una enfriadora por cada planta. En la actualidad, existe una sola enfriadora ubicada en la azotea.

Los parámetros específicos para éste elemento se encuentran en la siguiente tabla:

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Chiller Type	✓	Paper format	Room Name	x	NA
Capacity Curve	x	-	Room Number	x	NA
COP Curve	x	-	Model (Maker Name)	✓	Paper Format Excel file
Nominal Capacity	✓	Paper format	Acquisition date	x	-
Nominal Efficiency	x	-	Serial number	x	-
Energy Efficiency Ratio	x	-	Mean time between failure	x	-

Tag name	✓	Paper Format Excel file	Service life duration	x	-
Assessment Condition	✓	Excel file	Warranty content text	x	-
Assessment Date	x	-	Warranty end date	x	-
Price	✓	Paper format	Warranty identifier	x	-
Flow	✓	Paper format	Warranty period	x	-
Manufacturer	✓	Paper Format Excel file	Warranty start date	x	-

Tabla 29. Requisitos LOD para máquina enfriadora

Ya que la maquina se encuentra instalada en la azotea, los parámetros *nombre y número de habitación* no aplican, por lo que se usan 22 parámetros de los cuales, solo se ha obtenido información en 8 de ellos, con un ratio del 36,36%. Si consideramos la información relevante para el mantenimiento del edificio, los parámetros se reducen hasta 18, obteniendo información en 4 de los casos, con un ratio total de 22,23%.

Como en el caso anterior, la familia de la enfriadora se ha creado de 0, teniendo en cuenta el tamaño real de la máquina (Figura 85), y se ha añadido exclusivamente los parámetros relativos y la información obtenida.

7.8 Conductos

El caso de los conductores se requiere un total de 16 parámetros distintos de los cuales se ha encontrado información en 4 de ellos con un ratio del 25%. Si no se tiene en cuenta los parámetros que no tienen relación con el mantenimiento del edificio, el número desciende hasta 12 (ubicación, material y tipo) por lo que no se dispondría de información (0%).

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Atmospheric Pressure	x	-	Serial number	x	-
Material	✓	Paper Format	Mean time between failure	x	-
Type	✓	Paper Format	Service life duration	x	-
Manufacturer	x	-	Warranty content text	x	-
Room Name	✓	Paper Format	Warranty end date	x	-
Room Number	✓	Paper Format	Warranty identifier	x	-
Model (Maker Name)	x	-	Warranty period	x	-
Acquisition date	x	-	Warranty start date	x	-

Tabla 30. Requisitos LOD para conductos

En el presente elemento, se puede modificar la cantidad de parámetros a considerar pues todos aquellos relacionados con la garantía, modelo y vida útil puede que no tengan mucha importancia. Así pues, la Tabla 30 se vería resumida por la siguiente, obteniendo un ratio del 50% de información y obviando los parámetros poco relevantes, el ratio se mantiene al 50% ya que solo aplicarían 4 parámetros (presión atmosférica, material, tipo y número de serie).

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Atmospheric Pressure	x	-	Room Name	✓	Paper Format
Material	✓	Paper Format	Room Number	✓	Paper Format
Type	✓	Paper Format	Acquisition date	x	-

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Manufacturer	x	-	Serial number	x	-

Tabla 31. Requisitos LOD resumidos para conductos

Como se ha comentado en apartados previos, se ha modelado todos los conductos teniendo en cuenta su tipo (rectangular o circular) y su tamaño (ver Figura 34) según la información obtenida de varias fuentes (ver anejos I.II, I.III y I.IV).

7.9 Tuberías

Tal y como ocurre en el caso de los conductos, las tuberías tienen la misma cantidad de parámetros a considerar:

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Flow	✓	Paper Format	Serial number	x	-
Pressure	✓	Paper Format	Mean time between failure	x	-
Material	✓	Paper Format	Service life duration	x	-
Manufacturer	x	-	Warranty content text	x	-
Room Name	✓	Paper Format	Warranty end date	x	-
Room Number	✓	Paper Format	Warranty identifier	x	-
Model (Maker Name)	x	-	Warranty period	x	-
Acquisition date	x	-	Warranty start date	x	-

Tabla 32. Requisitos LOD para tuberías

De los 16 parámetros, se obtiene información en 5 de ellos por lo que se obtiene un ratio de 31,25%. Si se obvia la información que no tiene relevancia para el mantenimiento del edificio (material, fabricante, modelo y ubicación), hay un total de 11 parámetros, obteniendo un ratio de 18,18%.

Si se resume la Tabla 32 tal cual el criterio del caso de los conductos, se obtiene un ratio del 62,5% y, obviando los parámetros poco relevantes (ubicación y fabricante), el ratio aumenta hasta un 75%, ya que se obtiene información en 3 de 4 casos.

Parámetro	✓/x	Formato	Parámetro	✓/x	Formato
Flow	✓	Paper Format	Room Name	✓	Paper Format
Pressure	✓	Paper Format	Room Number	✓	Paper Format
Material	✓	Paper Format	Acquisition date	x	-
Manufacturer	x	-	Serial number	x	-

Tabla 33. Requisitos LOD resumidos para tuberías

Como se ha comentado en apartados previos, se ha modelado todas las tuberías teniendo en cuenta su tamaño y flujo según la información obtenida (ver anejo I.IV).

7.10 Discusión del nivel de fidelidad

Con toda la información obtenida en los apartados anteriores, se procede a la discusión del nivel de fidelidad existente entre la universidad y el modelo en BIM. Para ello, se efectúa una tabla resumen con toda la información de todos los parámetros de los elementos que completan el sistema de ventilación y climatización de la universidad.

Elemento	Parámetros	
	General	O&M
Difusor	44,45%	22,23%
Rejilla	44,45%	22,23%
Válvula	41,18%	5,88%
Unidad interior	38,84%	23,31%
Unidad exterior	36,92%	37,50%
Unidad tratamiento de aire	37,50%	16,67%
Enfriadora	36,36%	22,23%
Conducto	50,00%	50,00%
Tubería	62,50%	75,00%

Tabla 34. Resumen de ratios

En todos los casos (exceptuando las unidades exteriores y las tuberías), si se tiene en cuenta todos los parámetros, el ratio obtenido es más elevado comparándolo con el caso donde se efectúa una selección personalizada enfocada exclusivamente para el mantenimiento de un edificio. Esto es debido a que mucha de la información que se obtiene es irrelevante ya que está relacionada con las ubicaciones de los equipos.

Los difusores y las rejillas de ventilación, son dos de los casos donde más información se ha obtenido ya que la mayoría de datos han sido extraídos de trabajos finales de grado, como por ejemplo de Ribé (2006). Teniendo en cuenta los ratios de los parámetros enfocados al mantenimiento, éstos no llegan al 30% pero, al tratarse de elementos terminales, no es un caso crítico pues tienen una vida útil muy elevada con un sencillo mantenimiento.

Por un lado, el ratio con la información obtenida para las unidades de climatización externas es la más elevada de todos los casos. Según el inventario (anexo II), existen, como mínimo, 27 modelos diferentes de 7 fabricantes distintos. En muchos casos, fácilmente se puede acceder a su ficha técnica para obtener las características de los equipos, pero, en cambio, hay casos donde no ha sido posible acceder a ella ya que el modelo está obsoleto o han actualizado el modelo con algunas mejoras, cambiando alguna de las características principales. Si se consultase todas las etiquetas de los equipos, se mejoraría el control y muchos de los parámetros podrían ser completados. Por otro lado, la información obtenida de los equipos interiores (media entre tipo *split* y tipo *cassette*) sobrepasa el ratio de un 20%. Al igual que ocurre en el caso de las unidades exteriores, según el inventario de la UPC (anexo II) existen como mínimo, 24 modelos diferentes de los 7 fabricantes distintos. Si se obtiene su ficha técnica, se puede conseguir mucha información del equipo (dependiendo de si el uso es para el mantenimiento de un edificio, interesa una información u otra) pero enfocado al presente caso, se podría llegar a obtener, al menos, un ratio del 23,31%.

Ya que la enfriadora y la unidad de tratamiento de aire, ubicadas en la azotea, son dos de los elementos más importantes para la instalación, el ratio obtenido debería de ser mucho mayor pues el fallo de una de ellas provocaría que la tercera planta quedase sin ventilación. Como son máquinas muy específicas, toda la información que se propone para el mantenimiento debería poder ser obtenida a través de su ficha técnica. En caso contrario, sería imprescindible contactar con el fabricante para adquirir la información necesaria o realizar inspecciones visuales en las propias máquinas.

Tubería	75,00%
Conducto	50,00%
Unidad exterior	37,50%
Unidad interior	23,31%
Difusor	22,23%
Rejilla	22,23%
Enfriadora	22,23%
Unidad tratamiento de aire	16,67%
Válvula	5,88%

Tabla 35. Ratios de información ordenados de mayor a menor

Por último, al tratarse de una instalación existente, es muy complicado obtener información específica sobre las tuberías, conductos y válvulas ya que los parámetros necesarios según las tablas de los apartados 7.3, 7.8 y 7.9 se deberían poder obtener del proyecto inicial antes de su ejecución real. Por un lado, si se consideran todos los parámetros, el ratio para conductos y tuberías es muy bajo ya que todo tendría que estar documentado. En cambio, si se obvia aquellos parámetros que no tienen relevancia, el ratio puede aumentar hasta un 50% y 75%, respectivamente.

Si se adquiriese todas las fichas técnicas de todos los equipos y/o elementos (incluyendo los más antiguos o los que ya no se comercializan), los ratios LOD serían mayores y el modelo virtual, más completo. Además, desde un inicio, hubiese sido interesante ir almacenando fechas de compra, fechas de instalación o garantías de los equipos. En ningún caso se ha podido obtener información sobre la garantía de los elementos ni el tiempo medio entre fallos, de la duración de la vida útil o de la fecha de adquisición de los elementos, entre otros parámetros. Para un buen mantenimiento de un edificio existente, es esencial que los ratios de los elementos sean más elevados ya que se podría conseguir un control preventivo de daños, pudiendo evitar posibles fallos de equipos o cambiando elementos antes de que se deterioren.

Es importante conocer en detalle las características de todos los elementos que participan en la instalación de ventilación y climatización por lo que se debería hacer un estudio intensivo del estado actual del edificio y ejecutar distintos trabajos de observación y personalizado para cada elemento en cada caso.

En el anejo V se presenta los planos del modelado de la instalación de ventilación y climatización en BIM de las plantas de la universidad TR5 de Terrassa.

8 Resumen económico

El presupuesto correspondiente a la recopilación de información y modelaje de la instalación de climatización de un edificio existente se ha calculado teniendo en cuenta el tiempo invertido para cada función.

El importe de ejecución es de 12.000€.

Teniendo en cuenta el impuesto sobre el valor añadido (I.V.A) de tipo 21% es de 2.520€

Así pues, el presupuesto total asciende a 14.520€ - CATORCE MIL QUINIENTOS VEINTE EUROS -

9 Estudio Impacto ambiental

A través del modelado e implementación del BIM se consiguen una serie de ventajas que favorecen y reducen el impacto en el medio ambiente:

- Con el edificio modelado, existe la posibilidad de reducir la cantidad de impresiones de distintos documentos, así como planos o archivos de datos, pues toda la información se encuentra centrada en el mismo archivo Revit.
- Es posible reducir el consumo de materiales, energía, emisiones, tiempo y coste ya que se puede realizar simulaciones o previsiones cercanas a la realidad.
- Mejora las tareas de mantenimiento y gestión del edificio objeto ya que puede contener todos los equipos instalados y todo el historial de cambios
- Elaboración de análisis para estudios energéticos, arquitectónicos, estructurales, entre otros, para la selección más óptima de diferentes escenarios y posible reducción de costes energéticos y económicos.
- Control del ciclo de vida del edificio y vida útil de los elementos instalados conociendo garantías y prever posibles fallos para actuar con suficiente tiempo.
- Estandarización de modelado y experiencia obtenida para futuros proyectos.

10 Conclusiones

El edificio TR5 de la UPC fue construido en los años 60 y principalmente se implementan clases y algunos laboratorios. Está dotado de sensores de temperatura y humedad, pero la automatización de los sistemas no está del todo implantada ya que, por ejemplo, no existe ni el control automático de temperatura o el control de iluminación.

Es de vital importancia que la información, tanto en planos como en el inventario (Archibus) esté en acorde con los elementos instalados en la universidad dado que en algún momento el personal de mantenimiento será completamente nuevo y solamente tendrá la información digital o impresa. En cambio, si se transmite todos los conocimientos dentro del modelo Revit, éstos quedaran almacenados y cualquier técnico con la formación adecuada en el software será capaz de acceder a ella.

En la actualidad, la información que se posee es interesante a la hora de localizar e identificar los equipos, pero focalizándolo al mantenimiento del edificio, dicha información es prácticamente irrelevante. Los parámetros importantes serían aquellos relacionados con partes específicas de los elementos, así como el flujo nominal y flujo máximo, la presión que se ejerce, el número de serie o el coeficiente de rendimiento, entre otros.

Aun teniendo las fichas técnicas de los equipos, todas las etiquetas de los equipos tienen que ser claramente legibles (Figura 27 y Figura 28) ya que contiene toda la información primordial haciendo aumentar el ratio de información de los equipos. La información procedente de las etiquetas no se ha introducido en el modelo BIM pues no ha sido posible visitar todos los equipos exteriores.

Se ha invertido una gran cantidad de tiempo en el análisis y revisión de toda la información obtenida por distintas vías, siendo, en algunos casos, contradictorias entre las distintas fuentes. Ninguna de la información que se obtiene está actualizada al 100% por lo que genera confusión a la hora de conocer los detalles del sistema de climatización. Para poder solventar dichas contradicciones se ha realizado distintos desplazamientos hasta la universidad para poder hacer una inspección visual o una reunión con el responsable de servicio de obras y mantenimiento.

Asimismo, también se ha invertido muchas horas en la realización del modelo digital, pero muchas de ellas se han destinado al aprendizaje y falta de fluidez y experiencia en la utilización del programa por parte del usuario pues es una de las primeras veces que trabaja con el software. La complejidad de la indagación para completar con máximo detalle las familias que participan en el modelo y la inserción de éstas junto todo el sistema de climatización es un parámetro a tener en cuenta ya que se desconocía al completo el funcionamiento del sistema y se ha ido conociendo poco a poco gracias a las distintas visitas, a la lectura de muchos informes y al modelaje del edificio.

Paralelamente a todas las ventajas que se obtienen con el modelado de los edificios en formato digital, se ha otorgado un nivel de tiempo, esfuerzo y dificultad elevado. También se tiene que tener en cuenta la falta e inexactitud de información y la dificultad para buscar y/o encontrar todos los elementos en formato digital.

El resultado de este trabajo ha sido la recopilación de toda la información relacionada con el sistema de ventilación y climatización instalado en la universidad y comprobar el nivel de detalle que se tiene acorde el estado actual del edificio.

El modelo Revit entregado, junto con toda la información que se presenta en el presente informe y los anejos y planos asociados, puede ser una gran herramienta para el mantenimiento del campus pudiendo remodelar el edificio para que tenga unas características más eficientes y ergonómicas.

Al ser un proyecto basado en un edificio e instalaciones existentes, existen muchas opciones para la continuación del presente proyecto:

- Modelar todas las instalaciones restantes.
- Mejorar el nivel de detalle de los elementos instalados.
- Obtención de todos los parámetros para los elementos.
- Completar la información requerida según el LOD del elemento.
- Vincular Archibus y otros documentos con el modelo.
- Automatizar el modelo.
- Etc

11 Bibliografía

2019. «BIM LOD FOR FACILITY MANAGEMENT TASKS.» *2019 European Conference on Computing in Construction*. Chania, Crete, Greece, s.f. 1-12.
- Afsari, K. & Eastman. «Comparison of Construction Classification Systems Used for Classifying Building Product Models.» *52nd ASC Annual International Conference Proceedings*. ResearchGate, 2016.
- Akcamete, Asli et al. «Potential utilization of building information models for planning maintenance activities.» *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. 2010a. 151-157.
- Alavi y Forcada. «BIM LOD FOR FACILITY MANAGEMENT TASKS.» *2019 European Conference on Computing in Construction*. Chania, Crete, Greece, 2019. 1-12.
- BibLus. *BibLus*. 13 de Junio de 2017. <http://biblus.accasoftware.com/es/evolucion-del-bim-modelo-virtual/> (último acceso: 9 de Enero de 2019).
- Brito and Pereira. «Maintenance planning of facades in current buildings.» *Construction and Building Materials*. Lisboa: ReserchGate, 2017.
- Camilo, Cristina. *msistudio*. 1 de Julio de 2018. <https://www.msistudio.com/normalizacion-de-lod-loi/> (último acceso: 5 de Febrero de 2019).
- Cavka et al. «Developing owner information requirements for BIM-enabled project.» 169-183. Vancouver, Canada: Elsevier, 83, 2017.
- COBie. «The COBie Guide.» *The National Institute of Building Sciences*. 2013.
- Dias y Ergan. «The Need for Representing Facility Information with Customized LOD for Specific FM Tasks.» *Construction Research Congress 2016: Old and New Construction Technologies Converge in Historic San Juan - Proceedings of the 2016 Construction Research Congress*. 2016. 2563-2572.
- Donath, D. *Bauaufnahme und Planung Im Bestand : Grundlagen - Verfahren - Darstellung - Beispiele*. 2009.
- Madrid, Javier Alonso. *Escuela de edificación*. s.f. https://escuelaedificacion.org/images/zoo/uploads/PDF/PRESENCIALES/MBIM/Revista_Building_Smart_JAM_Art.pdf (último acceso: 07 de 09 de 2019).
- Margalef, Agustí Jardí. *Apogea Virtual Building*. 14 de Agosto de 2015. <http://www.apogeavirtualbuilding.com/la-importancia-de-un-bep-bim-execution-plan/> (último acceso: 10 de Mayo de 2019).
- Mariages, David Alcántara. «Estudi del procés de modelatge en BIM (Building Information Modeling) d'un edifici existent del campus de Terrassa.» TFM, Terrassa, 2017.
- Matheu, Nuria Forcada. «Instal·lació de Climatització.» Terrassa, 2017.
- Megatherm. *Megatherm*. 2019. <https://www.megatherm.gr/en/products/fch-20-80-en/> (último acceso: 23 de 03 de 2019).
- Moral, Laia. «Study of the integration of satisfaction surveys into Building Information Models.» TFG, Terrassa, 2018.
- NISTIR. «UNIFORMAT II, Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis.» Normativa, 1999.
- Poyato, Noemí. «Estudio y modelización del edificio TR5 mediante métodos simplificados.» TFM, Terrassa, 2014.
- Ribé, Oscar. «Projecte de climatització de la planta 3ª del TR5 (ETSEIAT) del campus de Terrassa de la UPC.» TFG, Terrassa, 2006.
- Teicholz, E. «Bridging the AEC/FM technology gap.» *IFMA Facility Manage*. 2013a. 1-8.